



# **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**EAP. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Proyecto de reducción de desperdicio mediante programación de máquina Slitter basado en la optimización de cortes longitudinales**

## **TESINA**

Para optar el Título de Ingeniero Industrial

## **AUTOR**

**Diego Ricardo Lara Hayball**

LIMA – PERÚ  
2015

A MI FAMILIA

# INDICE

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>6</b>
1.1 Identificación del Problema	6
1.2 Formulación del Problema	8
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos de la Investigación	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
1.5 Delimitación del Proyecto	10
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1 Antecedentes del Problema	11
2.2 Bases Teóricas	12
2.2.1 Investigación Operativa	12
2.2.2 Modelos Matemáticos	13
2.2.3 Programación Lineal	15
2.2.4 Programación Lineal Entera	16
2.2.5 Problema de Corte Unidimensional	16

2.3	Glosario de Términos	19
<b>CAPÍTULO III:</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER</b>	<b>22</b>
3.1	Descripción del Proceso	22
3.1.1	Diagrama de Operaciones del Proceso	22
3.1.2	Tipos de Productos a Cortar	28
3.2	Desempeño Actual	29
3.3	Método de Programación Actual	31
<b>CAPÍTULO IV:</b>	<b>ELABORACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER</b>	<b>34</b>
4.1	Identificación de Causas	34
4.2	Propuestas de Mejora	44
4.3	Diseño del Software	46
4.4	Simulación del Software	92
4.5	Implementación y Pruebas	96
4.6	Estimaciones de Ahorro de material y Beneficio económico	98
4.7	Estandarización del Proceso Mejorado	100
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>106</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>V</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>No. Tabla</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Págs.</b>
3.1.	TIEMPOS DE OPERACIÓN ESTÁNDAR DE PRODUCTOS QUE SE ELABORAN EN MÁQUINA SLITTER	27
3.2.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS QUE SE CORTAN EN MÁQUINA SLITTER	29
3.3.	DESPERDICIO GENERADO EN MÁQUINA SLITTER DURANTE EL AÑO 2014	30
4.1.	RESULTADOS DE MUESTREO REALIZADO PARA DETERMINAR SITUACIÓN ACTUAL EN MÁQUINA SLITTER	35
4.2.	EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK T112 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER	38
4.3.	EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK J114 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER	39
4.4.	EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK BT015 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER	40
4.5.	PORCENTAJE DE ANCHO DESPERDICiado POR DESCENTRAMIENTO DE MATERIAL	42
4.6.	PORCENTAJE DE ANCHO DESPERDICiado POR CRITERIO DE COMBINACIÓN DE MATERIAL	43
4.7.	ANCHO DE MATERIAL DISPONIBLE CONSIDERANDO EL	43

4.8.	CUADRO DE REGISTRO DE PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN BASADO EN DISEÑO DE PIZARRA DE CONSTRUCCIÓN	50
4.9.	CUADRO DE OBTENCIÓN DE ROLLOS REQUERIDOS POR MÁQUINA DE CONSTRUCCIÓN	51
4.10.	CUADRO DE OBTENCIÓN DE ROLLOS REQUERIDOS POR ANCHO DE CORTE	52
4.11.	CUADRO DE REGISTRO DE INVENTARIOS INICIALES POR ANCHO DE MATERIAL	54
4.12.	CUADRO DE OBTENCIÓN DE ORDEN DE PRODUCCIÓN	55
4.13.	TIPOS DE RELACIONES ARITMÉTICAS ENTRE AMBOS LADOS DE LA RESTRICCIÓN	69
4.14.	RELACIÓN KILOS POR METRO CUADRADO DE MATERIAL Y LONGITUID DE MANTA	75
4.15.	COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO DE MATERIAL OPERARIO VS SOFTWARE	96
4.16.	KILOS AHORRADOS POR CORRIDA POR USO DE SOFTWARE SEGÚN TIPO DE MATERIAL	99
4.17.	COSTO UNITARIO EXPRESADO EN DOLARES POR KILO SEGÚN TIPO DE MATERIAL	99
4.18.	AHORROS ANUALES SEGÚN PROYECCIONES DE NÚMERO DE CORRIDAS POR TIPO DE PRODUCTO	100

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>No. Figura</b>	<b>Título de la Figura</b>	<b>Págs.</b>
2.1.	MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN COMPLETO	15
2.2.	REPRESENTACIÓN DE PATRONES DE CORTE EN UNA DIMENSIÓN	18
2.3.	MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN CON USO DE PATRONES DE CORTE	18
3.1.	DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE NEUMÁTICOS	24
3.2.	FORMATO DE PARTE DE PRODUCCIÓN DE SLITTER	28
4.1.	FORMATO DE REGISTRO DE COMBINACIONES DE ANCHOS DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER	35
4.2.	REPRESENTACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL MATERIAL EN MÁQUINA SLITTER	38
4.3.	ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE PROGRAMA DE PRODUCCIÓN EN MÁQUINA SLITTER	45
4.4.	PIZARRA CON PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN	50
4.5.	ALMACENAMIENTO DE ROLLOS ANTES DE ROTULADO	53
4.6.	ALMACENAMIENTO DE ROLLOS DESPUÉS DE ROTULADO	53

4.7.	CONDICIÓN DE ESTANTES DE ALMACENAMIENTO DE ROLLOS ANTES Y DESPUÉS DE ROTULADO	54
4.8.	COMPARATIVA UTILIZACIÓN DE CONDICION DE ROLLOS EXTRAS	59
4.9.	MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CORRIDAS INICIALES	61
4.10.	MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CORRIDA FINAL	63
4.11.	SELECCIÓN DEL RANGO VARIABLE DEL PRODUCTO J114	65
4.12.	SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO VARIABLE DEL PRODUCTO J114	67
4.13.	TIPOS DE RELACIONES ARITMÉTICAS ENTRE AMBOS LADOS DE LA RESTRICCIÓN	69
4.14.	RESTRICCIÓN DE CANTIDAD DE ROLLOS REQUERIDOS POR ANCHO	72
4.15.	SELECCIÓN DE CONDICIÓN DE ROLLOS EXTRAS PARA ANCHOS DE USO FRECUENTE	73
4.16.	OPERACIÓN DE MÁQUINA SLITTER DURANTE PERIODO DE PRUEBAS INICIALES (VISTA FRONTAL)	98
4.17.	OPERACIÓN DE MÁQUINA SLITTER DURANTE PERIODO DE PRUEBAS INICIALES (VISTA POSTERIOR)	98



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la utilización de herramientas de optimización de recursos se encuentra ampliamente difundida. Son muchas las ventajas que traen consigo este tipo de aplicaciones. La tendencia actual de las compañías del sector industrial está orientada a enfocar sus esfuerzos en tratar de optimizar sus procesos internos de manera que puedan situarse dentro de un escenario más favorable frente a la intensa competitividad del mercado de hoy en día. Una empresa que simplemente no apueste por mejorar sus procesos, por reducir costos y por ser más competitivos ineludiblemente estará en gran desventaja y con riesgo a fracasar frente a una empresa que obtenga mejores márgenes y se encuentre en capacidad de adecuarse a las exigencias del mercado como consecuencia de haber reducido costos mediante la optimización y mejora de sus procesos.

Este informe se centra en el estudio e implementación de un método de programación para la máquina Slitter mediante el desarrollo de un aplicativo de optimización de cortes longitudinales que tiene por objeto definir las combinaciones de anchos de corte optimas que permitan reducir el desperdicio del proceso de corte de manera que el aprovechamiento del material sea el mayor posible.

Este informe no se limita al planteamiento básico del modelo matemático sino que presenta los detalles del diseño del mismo y muestra los procedimientos de implementación del aplicativo y los resultados de las pruebas a las que éste fue sometido.

En el primer capítulo se hace una breve introducción del problema identificado del uso ineficiente del material en el proceso de corte en la máquina Slitter indicándose los índices de desperdicio. Se describe la importancia de resolver este problema, el objetivo general y los objetivos específicos que se esperan alcanzar así como el alcance del estudio.

En el segundo capítulo se describen los antecedentes respecto al problema de corte el cual se presenta en procesos de diversas industrias. Señalando la importancia y el énfasis que ha cobrado el cuidado medioambiental en las últimas décadas y la relación de este con la tarea de reducción de desperdicios en los procesos productivos principalmente. De igual modo en este capítulo se mencionan las técnicas existentes de investigación de operaciones que actúan frente a este tipo de problemas de corte unidimensional y el análisis en otras aplicaciones.

En el tercer capítulo se hace una descripción completa del proceso de corte actual, explicándose como es realizada la programación de la máquina, como se lleva a cabo el proceso de corte longitudinal, los productos que se elaboran y también cuales son los resultados actuales en términos de aprovechamiento del material y generación de desperdicios actuales.

En el cuarto capítulo se realiza una comparativa entre las diferentes opciones de aplicativos existentes para lograr optimizar el proceso de corte y se selecciona el que cumple de manera satisfactoria los objetivos del proyecto. En este capítulo también se hace un análisis de las causas principales y cómo influyen en la generación del desperdicio. Además se define el modelo matemático más adecuado a usar de acuerdo a las características y ciertas restricciones propias del proceso de corte en la máquina

Slitter y se muestra el desarrollo del software de optimización, la codificación del mismo, las simulaciones necesarias previas a la implementación y los resultados obtenidos así como proyecciones de ahorro de material y ahorro económico. Finalmente se describe los pasos para la implementación de la mejora y mecanismos para estandarizar y mantenerla vigente en el tiempo.

A continuación se plasman las conclusiones a las que se llegó luego de las pruebas realizadas. En este capítulo también se muestran las recomendaciones para quien desee expandir el alcance de este proyecto.

En los anexos se muestran los diagramas esquemáticos, tablas y cuadros de consulta que se consideraron necesarios para complementar el estudio.

## **RESUMEN**

El siguiente informe se basó en el desarrollo de un método de programación para la optimización del proceso de corte en máquina Slitter que se lleva a cabo como parte del proceso productivo de elaboración de neumáticos de la empresa Lima Caucho S.A.

El problema central era el desperdicio elevado de material que se generaba durante la operación de corte como consecuencia de una selección y combinación inadecuada de productos a cortar en cada corrida.

Se evaluaron alternativas y buscó una solución al problema con la finalidad de lograr un mejor desempeño y reducir el desperdicio de material.

Este proyecto se enfocó en diseñar e implementar un método de programación que incluya como etapa inicial la obtención de órdenes de producción y en segunda instancia que sea capaz de combinar estas órdenes de producción de manera que se logren corridas óptimas.

Para lograr ello se emplearon una serie de técnicas de investigación de operaciones y el uso del programa de optimización Solver como herramienta de optimización, adicionalmente se utilizaron macros avanzadas haciendo uso del lenguaje de programación Visual Basic para desarrollar la plataforma en la cual se elabora el programa de producción.

Se logró una reducción significativa del desperdicio, lo que permitió generar ahorros económicos importantes cumpliendo con los objetivos trazados en un inicio del proyecto.

De esta manera se pudo concluir que con la implementación del nuevo método de programación se genera un mejor desempeño en cuanto al aprovechamiento del material y esta mejor forma de trabajar contribuye con el deseo de la empresa de conseguir mejorar sus procesos de manera que sea más eficientes y que permitan a la compañía seguir siendo competitiva y mantenerse vigente en el mercado.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Identificación del Problema**

En el proceso productivo de elaboración de neumáticos, una de las etapas consiste en cortar longitudinalmente material textil de un ancho determinado, obteniéndose rollos de menores anchos variables según los requerimientos de producción.

Este proceso de corte se realiza en la máquina Slitter, la cual opera de forma semiautomática, requiriendo de una persona quién pisando un pedal de forma continua acciona la máquina permitiendo el corte del material textil.

La máquina Slitter está conformada por una estación de soporte de rollo maestro, un sistema de rodillos tensadores, un rodillo centrador de material, un sistema de cuchillas circulares y una estación de soporte de rollos finales de menor ancho.

Este proceso se define como una operación que requiere de continua inspección por parte del operador de la máquina, convirtiéndolo en un proceso bastante manual debido a que el operador debe verificar continuamente el correcto alineamiento del material, parando constantemente para realizar ajustes en caso hubiese descentramiento o alguna otra condición anormal del material.

Como resultado del proceso de corte longitudinal en esta máquina se obtienen subproductos que van a ser componentes de la llanta directamente en la etapa de ensamble o en una etapa previa.

Los materiales que aquí se cortan no provienen de una orden de producción planificada y emitida por el Departamento de Programación sino son resultado del criterio que aplica el operador de la máquina durante el turno de trabajo y en base al manejo de sus inventarios y verificación de los programas de producción de la línea de ensamble tratando de abastecer de material los procesos siguientes.

Bajo este esquema actual de trabajo se están generando altos inventarios de productos, pues es una condición natural tratar de cubrirse y evitar ocasionar ruptura del flujo de producción en la línea de ensamble, sin embargo esta condición conlleva efectos negativos como es la generación de desperdicio debido a un criterio errado de combinación de anchos y posibilidad de materiales envejecidos.

Es en este contexto presente que existe la necesidad actual de replantear el método de programación de esta máquina de manera que esta responsabilidad no recaiga directamente sobre el operador y no sea efectuada en base a criterios propios, sino que se realice siguiendo criterios técnicos de optimización de cortes.

## **1.2 Formulación del Problema**

El problema general se formula de la siguiente manera:

El desperdicio generado en el proceso de corte longitudinal en la máquina Slitter es elevado, lo cual se ve reflejado como indicador en un desperdicio promedio de 1324 kilos/mes (ver Tabla 3.3.). Siendo este proceso uno de los principales generadores de desperdicio dentro del proceso global de elaboración de neumáticos.

Los problemas específicos se formulan de la siguiente manera:

- No se tiene establecido un procedimiento formal que indique la secuencia adecuada de pasos necesarios para la obtención del programa de producción de la máquina Slitter.
- No se está aprovechando óptimamente el material a cortar, como consecuencia de que las combinaciones de anchos de corte son determinadas a criterio propio de cada operador de la máquina Slitter.

## **1.3 Justificación**

En la industria de fabricación de neumáticos, la excelencia operativa tiene un alto valor para la obtención de un producto de calidad a un costo óptimo que permita competir en el mercado nacional y latinoamericano contra productos de alta calidad y a bajo costo elaborados por grandes empresas transnacionales quienes debido a su mayor cuota de ventas les permite realizar economías de escala y con esto tener una ventaja competitiva. Ante esta situación, toda acción



de mejora realizada que conlleve a la excelencia operativa es fundamental para la empresa de manera que siga siendo competitiva en el mercado.

El desperdicio generado en el proceso productivo es uno de los puntos por mejorar, es por ello la importancia de conocer su comportamiento en los principales procesos generadores de desperdicio para poder evaluar puntos críticos donde poder plantear acciones de mejora en lo que a su reducción se refiere, siendo necesario para esto generar las condiciones y controles necesarios dentro del proceso.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Reducir el desperdicio generado en el proceso de corte longitudinal, mediante la programación de la máquina Slitter.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos que se plantean son:

- Elaborar un procedimiento para estandarizar el proceso de programación de máquina Slitter.
- Incluir en el proceso de programación de máquina Slitter la aplicación de una herramienta de optimización que garantice el uso de combinaciones de anchos de corte óptimas, evitando que esta función quede a criterio propio del operador.

## **1.5 Delimitación del Proyecto**

El alcance de este proyecto se limita al estudio y análisis del proceso de corte longitudinal en máquina Slitter con la finalidad de reducir el desperdicio que en este proceso se genera, evaluando y mejorando las condiciones de trabajo actuales, en busca de optimiza el uso del material utilizado en este proceso.

Otros tipos de desperdicios que se generan en el proceso de elaboración de neumáticos no serán estudiados y/o analizados en este informe.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del Problema**

A nivel mundial las empresas manufactureras optan por la minimización de residuos y esta tarea ha tomado mayor importancia en las últimas décadas como parte del cuidado del planeta, formando parte de sus políticas medioambientales y objetivos de calidad.

La minimización de residuos es el proceso de reducir la cantidad de residuos producidos por una persona o una sociedad. Esto implica realizar esfuerzos para obtener un mayor volumen de producción manteniendo mínimos niveles de desperdicio.

Minimizar los residuos generados por las empresas manufactureras es un compromiso con la sociedad y el medio ambiente.

Usualmente la minimización de residuos requiere conocimientos en el proceso de producción y de utilización de técnicas, métodos y tecnologías que permitan mejorar los procesos de producción a fin de generar reducciones de desperdicio.

Es en ese sentido que la Investigación de Operaciones toma principal valor e importancia y se presenta como alternativa de solución para este tipo de procesos industriales en donde el uso de una herramienta de optimización puede generar una ventaja competitiva.

Este tipo de problema es conocido como el problema de Corte de Stock en una dimensión y ha sido bastante estudiado como consecuencia que su aplicación en diversas industrias ha permitido obtener ahorros económicos importantes.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Investigación Operativa**

La investigación Operativa o de Operaciones (IO), de acuerdo a Winston (2004) es con frecuencia también llamada ciencia de la administración, y la describe como un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos.

Según Taha (2012) las primeras actividades formales de investigación de operaciones se dieron lugar en Inglaterra cuando durante la Segunda Guerra Mundial, un equipo de científicos empezó a tomar decisiones con respecto a un mejor aprovechamiento del material bélico disponible. Winston (2004) complementa indicando que los comandantes británicos solicitaron a los

científicos e ingenieros analizar varios problemas militares, entre ellos se menciona los problemas relacionados con el despliegue de los radares y el control de convoyes, bombarderos, operaciones antisubmarinas y colocación de minas

La investigación de operaciones es utilizada con diversos fines en la actualidad debido a su amplio rango de aplicación. Se puede mencionar aplicaciones como:

- Asignación de recursos escasos
- Ordenamiento y coordinación de tareas
- Líneas de espera
- Problemas de Transporte
- Problemas de Inventario
- Costos y Tiempo

Actualmente la Investigación de Operaciones se aplica tanto el sector privado (industrias, sistemas de comercialización, sistemas financieros, transportes, sistemas de salud, etc.) así como también en el sector de los servicios públicos, en países desarrollados como en los países del tercer mundo Prawda (2004).

### **2.2.2 Modelos Matemáticos**

El modelo matemático es una representación de un problema que se presenta en la realidad. Un modelo debe expresar de una manera razonable las funciones matemáticas que representan el comportamiento del mundo real supuesto.

Los modelos matemáticos son empleados en la Investigación de Operaciones como las herramientas para lograr optimizar un determinado

sistema es decir, un modelo de optimización trata de encontrar valores, entre el conjunto de todos los valores para las variables de decisión, que optimicen (maximicen o minimicen) una función objetivo satisfaciendo a su vez las restricciones dadas.

Estos modelos están compuestos de los siguientes elementos según explica Ochoa (2014).

- **Función Objetivo:** Es definida como una medida cuantitativa del funcionamiento de un sistema que puede clasificarse como una función que se desea minimizar o maximizar de acuerdo a las características del problema que se presenta en la realidad.
- **Variables:** Estas pueden ser ya sea independientes o dependientes según sea el caso e influyen en el desempeño del sistema. Las variables son las decisiones que afectan el valor de la función objetivo.
- **Restricciones:** Se definen como un conjunto de relaciones que las variables están obligadas a satisfacer de una u otra manera. En la mayor parte de las situaciones, solo son posibles ciertos valores de las variables de decisión.

Estos tres componentes mencionados y que conforman el modelo de investigación de operaciones tienen por finalidad determinar qué valores deben tomar las variables para lograr hacer óptima la función objetivo tres componentes que conforman los modelos de IO tienen por finalidad determinar el valor que deben tomar las variables para lograr hacer óptima

la función objetivo satisfaciendo a su vez el conjunto de restricciones planteadas, al cumplir estas características se puede decir que se ha logrado resolver el modelo de modo óptimo.

A continuación se muestra un modelo de optimización completo en donde “Z” representa el valor de la función objetivo.

$$\text{Maximizar } Z = 5X + 24Y + 18Z$$

Sujeto a (s.a.)

$$X+Y+Z \leq 500$$

$$2X+3Y+Z \leq 700$$

$$X \leq 50$$

$$Y \leq 300$$

$$Z \leq 200$$

$$X \geq 0$$

$$Y \geq 0$$

$$Z \geq 0$$

FIGURA N° 2.1. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN COMPLETO – ELABORACIÓN PROPIA

### 2.2.3 Programación Lineal

La Programación Lineal según Loomba (1964) apud Díaz (2013), es un procedimiento o algoritmo matemático que permite resolver un problema que se ha formulado a través de ecuaciones lineales optimizando la función objetivo que también tiene la particularidad de ser lineal.

La programación lineal consiste en optimizar pudiendo ser un problema de minimizar o maximizar una función lineal, que se denomina función

objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales de la forma:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i \leq, \geq, = b$$

donde  $i = 1, 2, \dots, m$

#### **2.2.4 Programación Lineal Entera**

En este caso particular de la programación lineal se requiere que la solución óptima se componga de valores enteros para la totalidad de las variables.

La resolución de este problema se obtiene analizando las posibles alternativas de valores enteros de esas variables en un entorno alrededor de la solución obtenida considerando las variables reales.

Cuando todas las variables deben corresponder a valores enteros a este tipo de modelo se le denomina programación lineal entera pura.

#### **2.2.5 Problema de Corte Unidimensional**

Este trabajo se centrará en el estudio y aplicación del problema de corte unidimensional. Según indica Ochoa (2014) este tipo de problemas trata de un objeto que tiene la particularidad de tener una capacidad limitada y fija el cual será utilizado por una serie de ítems con un determinado tamaño menor al del objeto fijo de tal manera que se consiga un agrupamiento de ítems que logren la máxima utilidad en cuanto a la utilización y



aprovechamiento del tamaño del objeto fijo, siempre y cuando se satisfagan la restricciones existentes.

Según Ochoa (2014) el planteamiento del modelo del trabajo que el realiza en busca de optimizar el corte de varillas de acero de construcción el cual se centra de igual forma en la aplicación del problema de corte unidimensional lo lleva a cabo mediante la utilización del principio basado en patrones de corte presentado por (Gilmore & Gomory, 1963) donde indica que un patrón de corte es una combinación de ítems para cada objeto en stock.

Este modelo plantea que en lugar de hacer una asignación directa entre los ítems y los objetos en stock, se utiliza el concepto de patrón de corte. Todo esto teniendo como premisa que la suma de las longitudes de los ítems producidos a partir de un objeto no llegue a sobrepasar la longitud del objeto.

Un patrón  $j$  viene definido por el vector columna  $a_j = (a_{1j}, \dots, a_{mj}) \in \text{enteros positivos}$  donde  $j = 1, \dots, n$ . Se indica que es factible un patrón siempre y cuando cumpla la siguiente restricción (Gilmore & Gomory, 1963)

$$\sum_{i=1}^m l_i a_{ij} \leq L \quad j = 1, \dots, n$$

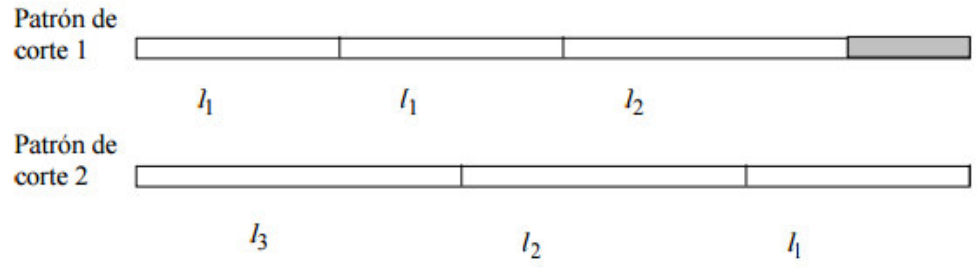


FIGURA N° 2.2. REPRESENTACIÓN DE PATRONES DE CORTE EN UNA DIMENSIÓN FUENTE: DELGADILLO (2007)

El modelo basado en patrones de corte se formula así:

$$z_{PE} = \min \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

s. a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq d_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m l_i a_{ij} + c_j = L$$

$$x_j \in \mathbb{Z}_+, \quad j = 1, \dots, n$$

Dónde:

$x_j, j = 1, \dots, n$  son las frecuencias de cada patrón (veces que se va a utilizar)

$c_j$  es el desperdicio asociado a cada patrón

$l_i$  es el largo del item  $i$

$L$  es el largo del objeto de stock

FIGURA N° 2.3. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN CON USO DE PATRONES DE CORTE – FUENTE: GRACIA (2010).

### 2.3 Glosario de Términos

<b>Término</b>	<b>Significado</b>
Desperdicio verde	Término que se aplica a los desperdicios generados en el proceso productivo de elaboración de neumáticos antes de la etapa de vulcanización. Fuente: Elaboración propia
Política ambiental	Es el conjunto de los esfuerzos políticos para conservar las bases naturales de la vida humana y conseguir un desarrollo sustentable Fuente: <a href="https://wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADtica_ambiental">wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADtica_ambiental</a>
Objetivo	Es el fin que se pretende alcanzar y hacia la que se dirigen los esfuerzos y recursos. Fuente: <a href="http://www.aiteco.com/definicion-de-objetivos/">www.aiteco.com/definicion-de-objetivos/</a>
Objetivo ambiental	Fin que se pretende alcanzar y que tendrá efecto en reducir o mitigar impactos ambientales. Fuente: Elaboración Propia
Cuerda textil	Entrelazado de dos hilos, filamentos o fibras diversas una longitudinal, llamada trama y otra transversal, llamada urdimbre que forman una malla o red. Fuente: <a href="https://wikipedia.org/wiki/Tejido_(textil)">wikipedia.org/wiki/Tejido_(textil)</a>

Compuesto	Material elaborado a partir de cauchos, negro de humo y pigmentos utilizado en la industria de neumáticos. Fuente: Elaboración propia.
Rack	Nombre designado a la cuerda textil recubierta con un baño de compuesto de caucho ya sea por una o ambas caras y que se utiliza en el proceso de elaboración de neumáticos. Fuente: Elaboración propia.
Rozadera	Tipo de rack recubierto en una sola capa y que se utiliza como refuerzo para la zona de la pestaña de la llanta. Fuente: Elaboración propia.
Cap Ply	Tipo de rack recubierto en ambas capas, que se utiliza como estabilizador ubicado debajo del rodante en las carcasas de las llantas radiales tipo camioneta. Fuente: Elaboración propia.
Aleta	Tipo de rack recubierto en ambas capas y que se utiliza como componente del aro para llantas radiales. Fuente: Elaboración propia.
J114	Código alfa-numérico propio de la organización con el que se le designa a la rozadera. Fuente: Elaboración propia.

T112	Código alfa-numérico propio de la organización con el que se le designa a la aleta. Fuente: Elaboración propia.
BT015	Código alfa-numérico propio de la organización con el que se le designa al Cap ply. Fuente: Elaboración propia.
Optimizar	Buscar la mejor manera de realizar una actividad. Fuente: Elaboración propia.
Función Objetivo	Una función objetivo puede ser el resultado de un intento de expresar un objetivo de negocio en términos matemáticos para su uso en el análisis de toma de decisiones, operaciones, estudios de investigación o de optimización. Fuente: <a href="http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-funcion-objetivo.html">www.encyclopediainanciera.com/definicion-funcion-objetivo.html</a> .
Restricción	Límite, impedimento o limitación, en la realización de una conducta, proyecto, etc. Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org/wiki/Restricci%C3%B3n">www.wikipedia.org/wiki/Restricci%C3%B3n</a> .
Corrida	Proceso de cortar longitudinalmente un rollo de ancho fijo con el fin de producir rollos de anchos menores y variables. Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER**

#### **3.1 Descripción del Proceso**

Esta operación consiste en cortar longitudinalmente material textil de un ancho determinado, obteniéndose rollos de menores anchos variables según los requerimientos de producción.

La máquina Slitter es parte de un conjunto de máquinas que pertenecen al área de Preparación de Stock, la cual está conformada principalmente por máquinas de corte de pliegos, corazas y cinturones radiales entre otros productos.

##### **3.1.1 Diagrama de Operaciones del Proceso**

Para tener una mejor comprensión respecto a donde se encuentra ubicado este proceso dentro del conjunto de procesos de elaboración neumáticos, así como para comprender las relaciones que existen con los procesos

previos y posteriores se ha desarrollado el Diagrama de Operaciones del Proceso de Elaboración de Neumáticos.

Como se puede apreciar en el DOP los rollos de ancho fijo son elaborados en un proceso previo en la cortadora de ángulos en donde el rack, proveniente de Calandria de cuerdas, es cortado en ángulo de 45 grados para luego ser empalmado corte con corte y enrollado en una manta vacía hasta completar la cantidad de cortes requeridos por rollo. Es así que se obtienen los rollos de ancho fijo que serán usados en la máquina Slitter.

Como explicación complementaria la calandria de cuerdas es una máquina cuya función básicamente es recubrir un material textil con un baño de compuesto de caucho siguiendo ciertas características técnicas.

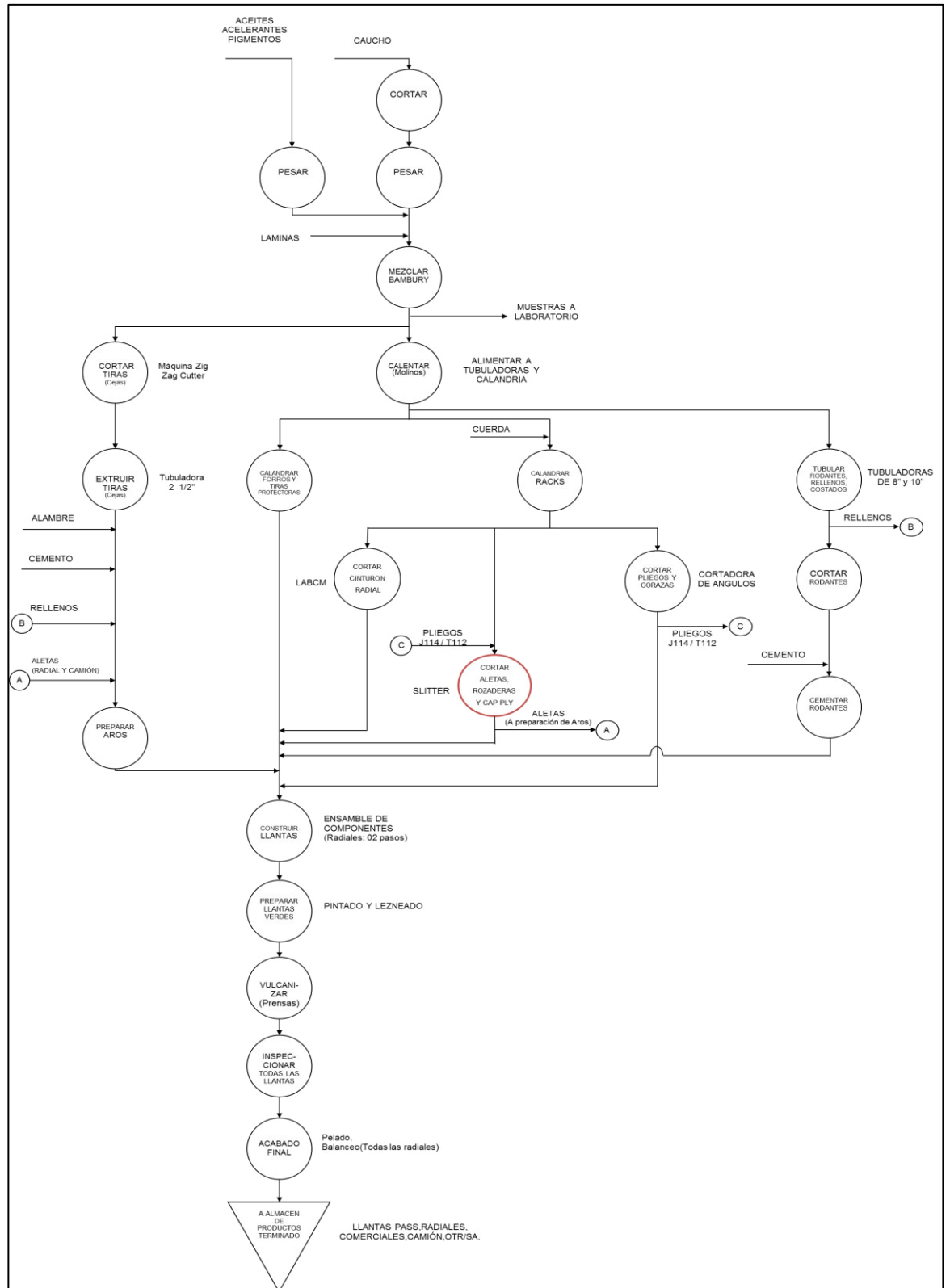


FIGURA N° 3.1. DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE NEUMÁTICOS – ELABORACIÓN PROPIA.



La operación de corte en la máquina Slitter cuenta con un procedimiento de trabajo establecido, basado en estudios de métodos y estudios de tiempos, de manera que la operación se realice siguiendo una secuencia correcta de operaciones para realizar un trabajo adecuado y en el menor tiempo posible. Este procedimiento es de conocimiento del operador de la máquina y se encuentra disponible para su revisión cuando así él lo requiera.

#### **Secuencia de Actividades:**

- Conseguir rollo maestro de estante pin (Aleta y/o rozadera) o de poza de almacenamiento de rollos de rack (Cap ply)
- Colocar eje y montar rollo maestro en máquina, usar tecla.
- Desenrollar punta de manta y sujetar en eje con tuco vacío.
- Desenrollar rollo hasta encontrar punta de material.
- Coger punta de material y pasar por sistema de rodillos para tensar material.
- Llevar punta de material hasta zona de cuchillas.
- Colocar el número de cuchillas en función a la cantidad de rollos a cortar.
- Ajustar la distancia entre cuchillas según el ancho para cada corte, usar wincha.
- Pisar pedal y cortar punta inicial de material con cuchillas.
- Conseguir mantas vacías del ancho requerido para cada corte.
- Colocar mantas vacías en eje superior e inferior.
- Montar eje superior e inferior en máquina.

- Coger punta de material cortado y sujetar en rollos.
- Cortar material, pisando pedal para corte continuo.
- Revisar, acomodar descentramiento de material, cuando sea necesario.
- Ir a parte posterior de máquina y retirar eje con rollo de manta vacía
- Conseguir segundo rollo maestro de estante pin (Aleta y/o rozadera) o de poza de almacenamiento de rollos de rack (Cap ply)
- Colocar eje y montar rollo maestro en máquina, usar tecla.
- Desenrollar punta de manta y sujetar en eje con tuc vacío.
- Desenrollar rollo hasta encontrar punta de material.
- Empalmar punta de material con la cola del material del rollo previo.
- Continuar con corte de material, pisando pedal para corte continuo
- Retirar ejes con rollos de máquina y colocar en el suelo.
- Retirar los rollos del eje y almacenar en estante pin.
- Ir a parte posterior de máquina y retirar eje con rollo de manta vacía.

### **Tiempos de Operación:**

Las operaciones de corte de rozaderas, aletas y cap ply en la máquina Slitter cuentan con un tiempo estándar de operación establecido por el Dpto. de Ingeniería Industrial, basado en estudios de tiempos y métodos.

A continuación se muestra tabla de tiempos estándar de operación

Producto	Rack	Descripción	Unidad	Tiempo Estándar (min)
Rozadera	J114	<b>Original:</b> Montar 02 rollos de 55 metros y 21 cortes cada uno. <b>Final:</b> Rollos de ancho variable de 42 cortes cada uno.	Por corrida	35.03
Aleta	T112	<b>Original:</b> Montar 02 rollos de 55 metros y 21 cortes cada uno. <b>Final:</b> Rollos de ancho variable de 42 cortes cada uno.	Por corrida	35.03
Cap ply	BT015	<b>Original:</b> Montar 01 rollo de 250 metros de calandria de cuerdas. <b>Final:</b> Rollos de ancho variable de 100 metros cada uno.	Por corrida	30.10

TABLA N° 3.1. TIEMPOS DE OPERACIÓN ESTÁNDAR DE PRODUCTOS QUE SE ELABORAN EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

El operador de la cortadora Slitter al terminar su jornada de trabajo registra su parte de producción, indicando la cantidad de corridas realizadas por cada tipo de producto.

Este documento es entregado al Supervisor del área quien debe verificar la información ingresada y validarlo mediante su firma, de esta manera el trabajador justifica el trabajo realizado durante el turno y en base a ello se calcula su incentivo por la labor realizada.

INFORME DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE TIEMPO SLITTER										
T.R.N°		NOMBRES Y APELLIDOS DEL TRABAJADOR						FECHA		
Turno	Sobre Tiempo	Clase Dpto.	Cant. Homb.	Horas Trabajadas		Horas a Incentivo		Aprobado por		
			1							
Tipo	Combinación por Corrida						Total Corridas	Min. Estand.	Clase Labor	Categ.
	1°	2°	3°	4°	5°	6°				
J114										
1 3/4								35.03 (Por Corrida)	182-2	
2										
2 1/8										
2 1/4										
2 1/2										
2 3/4										
3										
3 1/4										
3 1/2										
3 3/4										
4										
4 1/2										
4 3/4										
5										
5 1/4										
T112										
2 3/4								35.03 (Por Corrida)	182-2	
3 1/4										
4										
4 1/2										
BT015										
5 1/2								30.10 (Por Corrida)	182-2	
6										
6 1/2										
6 3/4										
7										
7 3/4										
POLIETILENO (Por rollo)										
Original : Rollos de 43"								18.71	182-2	
PRODUCTOS INDUSTRIALES (Por rollo)										
Original : Rollos de 36"								11.29	183-4	
Final : Rollos de 6"								1.28	183-4	
OBSERVACIONES										

FIGURA N° 3.2. FORMATO DE PARTE DE PRODUCCIÓN DE MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

### 3.1.2 Tipos de Productos a Cortar

La operación de corte en máquina Slitter es una etapa importante del proceso general de elaboración de neumáticos debido a que permite

obtener 03 componentes importantes de un neumático como son la rozadera, la aleta para elaborar aros y el cap ply usado en llantas radiales tipo camioneta.

A continuación se muestra en la Tabla N°3.2. las principales características de los componentes que se cortan en la Slitter para comprender con mayor detalle cada uno de ellos.

Producto	Rack	Cuerda	Compuesto	Espesor de Rack (pulg)	Nro. Capas de recubrimiento
Rozadera	J114	TNC8415	16923	0.034	1 capa
Aleta	T112	TNB12219	16923	0.037	2 capas
Cap ply	BT015	TNB12225	16970	0.035	2 capas

TABLA N° 3.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS QUE SE CORTAN EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

### 3.2 Desempeño Actual

El desperdicio que se genera durante cada turno de trabajo en cada una de las etapas del proceso productivo es recolectado y pesado por el Dpto. de Producción. Estos datos son ingresados a un aplicativo que almacena esta información y que permite llevar controles sobre los niveles de desperdicio generados.

Para medir el desperdicio en las actuales condiciones de operación de la cortadora Slitter usaremos los datos recolectados del periodo Enero a Diciembre del año 2014.

Es importante además asociar el desperdicio al volumen de producción debido a que existe una relación directa entre ambos; es decir, a mayor volumen de producción se espera una mayor generación de desperdicio. Por consiguiente en el siguiente cuadro se muestran los kilos de desperdicios mensuales, los kilos mensuales de producto terminado y el índice mensual kilos de desperdicio por tonelada de producto terminado. Este índice permitirá hacer las comparaciones con los nuevos índices obtenidos luego de realizar la propuesta de mejora en la máquina.

A continuación se muestra la tabla de desperdicio verde:

Descripción	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio Mensual	Total Acumulado
Desperdicio Verde en Slitter (kilos)	1,467	1,362	1,371	1,032	1,439	1,304	1,273	1,336	1,242	1,024	1,311	1,740	1,324	15,890
Producción (Toneladas)	803.7	785.2	857.7	738.4	798.4	804.8	706.4	764.3	799.9	635.1	717.2	690.4	758.5	9,102
Índice de Desperdicio Verde (Kg./ Ton.)	1.81	1.73	1.60	1.40	1.80	1.62	1.80	1.75	1.55	1.61	1.83	2.52	1.75	1.75

TABLA N° 3.3. DESPERDICIO GENERADO EN MÁQUINA SLITTER DURANTE EL AÑO 2014 – ELABORACIÓN PROPIA.

De la tabla se puede observar que el promedio mensual de desperdicio que se genera en este proceso es 1 324 kilos. La producción promedio mensual de productos terminados fue de 758.5 toneladas y el índice de desperdicio verde es en promedio 1.75 Kg/Ton.

### **3.3 Método de Programación Actual**

La programación de esta máquina actualmente es realizada por el mismo operador, siguiendo ciertos criterios para determinar que necesita cortar durante su turno de trabajo, los cuales serán descritos a continuación:

#### **Obtención de Requerimiento:**

El operador de la Slitter se basa en el programa de producción de la zona de ensamble de neumáticos para conocer qué medidas de llantas se están construyendo y así tener noción de los anchos que debe cortar.

El operador a inicio de turno se acerca a la pizarra de construcción, la cual indica el programa de producción de la línea de ensamble, registra esta información en un pedazo de papel y regresa a su zona de trabajo.

#### **Conversión de requerimiento en anchos y cantidades a cortar:**

Una vez que conoce las medidas de llantas que están programadas en el área de construcción lo que realiza a continuación es quizás la etapa más importante, identifica para cada una de las medidas de llantas el ancho que le corresponde y la cantidad de rollos que van a requerir.

#### **Identificación del Ancho del material a cortar:**

Para identificar que ancho de material le corresponde a cada llanta el operador se basa en su conocimiento y hace uso de su memoria, en caso no recuerde el ancho que le corresponda a alguna medida es en esa instancia que recurre a su lista de consulta de anchos. Esta forma de determinar el ancho de cada material es factible

de equivocación puesto que el portafolio de medidas de llantas que se maneja es muy amplio y la probabilidad de cometer error involuntario es alta. Por otro lado, debido a las pruebas y ajustes que realiza el Departamento Técnico constantemente están realizándose cambios en los anchos de corte de las medidas por lo que también es posible que el operador esté considerando un ancho anterior que ya no está vigente.

### **Identificación de la cantidad a cortar para cada ancho del material:**

A continuación luego de conocer los anchos de corte, le corresponde determinar la cantidad de rollos que debe cortar para cada medida. En esta etapa nuevamente recurre a su propio conocimiento y realiza estos cálculos basándose en su experiencia. Sin embargo, es importante mencionar que en algunos casos algunas máquinas de ensamble no trabajan de manera continua durante todo el turno pues puede darse el caso que se realice un cambio de medida o que se ensamble una cantidad determinada de llantas según disponibilidad de otro componente como puede ser número de rodantes o cantidad de aros preparados, pero el operador de Slitter no necesariamente conoce o sabe interpretar la información que la pizarra de construcción indica respecto a estas condiciones, de manera que las cantidades que el operador considera son requeridas en algunos casos no son reales o son superiores a las requeridas realmente.

Cabe señalar que todos estos cálculos son realizados sin hacer uso de algún formato o registro estándar, siendo en algunos casos realizado únicamente en su mente.



**Revisión de Inventarios Iniciales:**

La siguiente etapa corresponde a la verificación de los inventarios, actualmente los operadores manejan un stock de rollos de las medidas más frecuentes. Esta operación consiste en realizar un inventario de los rollos de cada ancho a inicio de turno y registrarlo en un pedazo de papel. Nuevamente se resalta que no existe un formato o registro estándar para la toma de inventarios. Así mismo se indica que el almacenamiento en los estantes no sigue un orden establecido y esto en muchas ocasiones dificulta la labor de toma de inventarios y como consecuencia el tiempo de tomar inventarios se incrementa.

**Determinación de Orden de Producción:**

Teniendo la información de los anchos requeridos, cantidades requeridas e inventarios iniciales el operador calcula la cantidad de rollos que le falta cortar teniendo en cuenta su inventario inicial de manera que pueda cubrir el requerimiento de rollos para garantizar que la línea de ensamble no pare.

## **CAPITULO IV**

### **ELABORACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER**

#### **4.1 Identificación de Causas**

Teniendo como objetivo principal la reducción del desperdicio verde, se ha realizado un análisis de los principales factores que originan y contribuyen con la generación de residuos.

La primera tarea consiste en analizar y conocer cuánto ancho de material está siendo desperdiciado en cada corrida y según el tipo de producto aleta, rozadera o cap ply y cuánto está representando este desperdicio en kilos por corrida.

Para poder medir el desempeño actual de la máquina en términos de eficiencia de uso de material, se llevó a cabo un seguimiento diario a esta labor, para esto se diseñó y entregó al operador el siguiente formato

Operador: _____										Fecha: _____			
										Turno: _____			

TIPO	COMBINACION POR CORRIDA								
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
<b>J114</b>									
1 3/4									
2									
2 1/8									
2 1/4									
2 1/2									
2 3/4									
3									
3 1/4									
3 1/2									
3 3/4									
4									
4 1/2									
4 3/4									
5									
5 1/4									

TIPO	COMBINACION POR CORRIDA			
	1°	2°	3°	4°
<b>T112</b>				
2 3/4				
3 1/4				
4				
4 1/2				
<b>BT015</b>				
5 1/2				
6				
6 1/2				
6 3/4				
7				
7 3/4				

**OBSERVACIONES:**

FIGURA N° 4.1. FORMATO DE REGISTRO DE COMBINACIONES DE ANCHOS DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

En el cual se registraron las combinaciones empleadas y los kilos de desperdicio generados por cada corrida. Con estos datos se determinó la eficiencia de uso de material y el peso promedio de desperdicio por corrida. Tomando una muestra durante 01 mes se obtuvieron los siguientes resultados para cada tipo de material (rack).

Rack	Ancho Total (pulg.)	Ancho Total Aprovechado (pulg.)	Ancho Total Desperdiciado (pulg.)	% Ancho desperdiciado	Desperdicio Promedio / Corrida (Kg)
J114	28	25.1	2.90	10.4%	4.03
T112	28	24.9	3.10	11.1%	4.90
BT015	56	51.9	4.10	7.3%	6.39

TABLA N° 4.1. RESULTADOS DE MUESTREO REALIZADO PARA DETERMINAR SITUACIÓN ACTUAL EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

Es importante mencionar que las eficiencias que se muestran fueron resultado de las combinaciones trabajadas por el operador basado en su criterio propio, encontrándose adicionalmente que en algunas ocasiones incluía en la combinación anchos de material que no eran requeridos en el corto plazo.

Una vez obtenido estos datos y teniendo mayor comprensión del problema se trata de responder la siguiente pregunta: ¿Por qué no es posible aprovechar todo el ancho del material durante el proceso del corte? Esta pregunta que se considera como el efecto visible del problema en análisis tiene respuesta en dos factores principales los cuales han sido encontrados en base a observaciones y seguimientos diarios del proceso.

Un primer factor fue encontrado durante los seguimientos físicos y conversaciones con el operador de la máquina, durante estos seguimientos se observa que el operador en reiteradas veces detiene el corte y se acerca a la parte posterior de la máquina para acomodar y centrar el rollo madre, que durante el corte se desplaza lateralmente generando un descentramiento del material en la zona de las cuchillas de corte afectándose el ancho de corte de los rollos de los extremos.

Para comprender mejor cuánto este factor podría estar influenciando en la generación de desperdicios se decidió realizar un estudio de descentramiento de material.

## **Descentramiento del Material**

El descentramiento de material se puede definir como el desplazamiento lateral del material el cual es generado por una serie de factores externos a la máquina Slitter y que afecta considerablemente los anchos de corte de los rollos extremos.

Debido principalmente a este problema es que al momento de determinar la combinación de ancho se tiene en cuenta dejar un margen de material en los extremos para evitar que esta variabilidad afecte el ancho de corte de los rollos extremos.

Para evaluar la variabilidad del descentramiento del material se realizó un estudio consistente en medir el grado de descentramiento del material para cada tipo de rack a cortar.

Esta evaluación se realizó haciendo marcas sobre uno de los ejes tensadores del rack y observando y registrando la distancia desplazada por el material durante la corrida pudiendo ocurrir un desplazamiento tanto hacia un sentido como hacia el otro sentido.

El siguiente cuadro grafica el problema del descentramiento lateral del material y muestra las marcas realizadas en los extremos para poder medirlo y conocer su comportamiento.

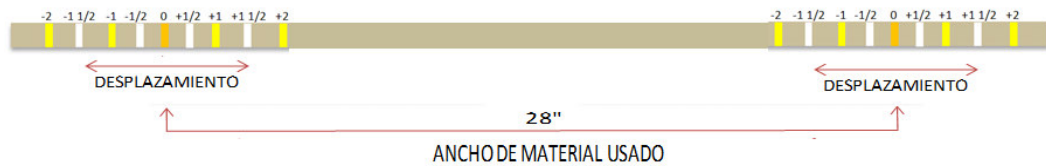


FIGURA N° 4.2. REPRESENTACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL MATERIAL EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

Del seguimiento realizado para medir la variabilidad del descentramiento del material se obtuvieron los siguientes resultados para cada tipo de material:

Cuadro de variaciones de rack T112 (Corte de Aletas)

MUESTRA	[-2;-1/2]	[-1/2; 0]	[0;+1/2]	[+1/2;+2]
1	2.40%	9.70%	87.90%	0.00%
2	10.00%	87.70%	2.30%	0.00%
3	10.50%	78.80%	5.70%	5.00%
4	2.70%	43.30%	40.50%	13.50%
5	2.50%	69.00%	27.50%	1.00%
PROMEDIO	5.62%	57.70%	32.78%	3.90%
	<b>5.62%</b>	<b>90.48%</b>		<b>3.90%</b>

TABLA N° 4.2. EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK T112 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

Del seguimiento se concluyó que en las condiciones actuales el 90.5% del tiempo de corrida, el desplazamiento del material varía en el rango de  $-\frac{1}{2}$ " a  $+\frac{1}{2}$ " siendo la variación del tiempo restante en promedio de  $\frac{1}{2}$ " adicional.

Por lo cual se concluyó que el margen óptimo con las condiciones actuales es de  $\frac{1}{2}$ " más una tolerancia adicional de  $\frac{1}{8}$ " siendo un total de  $\frac{5}{8}$ " para cada lado, aprovechándose  $26\frac{3}{4}$ " (95.6% del ancho total) del material montado.

Este valor de  $26 \frac{3}{4}$  es importante conocerlo porque nos servirá para tener en cuenta cuánto es el ancho máximo aprovechable que se podría alcanzar con una combinación óptima, es decir de todas maneras existe un desperdicio natural en el proceso de corte dado que siempre existirá variabilidad en el proceso y posibilidad de descentramiento, sin embargo a partir de este análisis ya conocemos el comportamiento del descentramiento.

Cuadro de variaciones de rack J114 (Corte de Rozaderas)

MUESTRA	[-2;-1/2]	[-1/2; 0]	[0;+1/2]	[+1/2;+2]
1	3.80%	73.70%	0.00%	22.50%
2	33.10%	23.50%	39.00%	4.40%
3	1.80%	23.40%	52.00%	22.90%
4	13.30%	41.60%	24.70%	20.50%
5	11.20%	60.40%	15.20%	13.20%
PROMEDIO	13.00%	40.50%	28.90%	17.60%
	<b>13.00%</b>	<b>69.40%</b>		<b>17.60%</b>

TABLA N° 4.3. EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK J114 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

En el caso de rack J114 el 70% aprox. del tiempo de corrida, el desplazamiento varía en el rango de  $-\frac{1}{2}$ ” a  $+\frac{1}{2}$ ” y un 20% adicional del tiempo se desplaza  $\frac{1}{2}$ ” extra. Por lo tanto para este caso se determina dejar un ancho de desperdicio de  $\frac{1}{2}$ ” más un margen adicional de  $\frac{1}{4}$ ” siendo un total de  $\frac{3}{4}$ ” para cada lado, aprovechando  $26 \frac{1}{2}$ ” (94.6% del ancho total) de material.

Cuadro de variaciones de rack BT015 (Corte de Cap Ply)

MUESTRA	[-2;-1/2]	[-1/2; 0]	[0;+1/2]	[+1/2;+2]
1	3.00%	90.50%	6.50%	0.00%
2	0.90%	88.60%	9.00%	1.50%
3	3.90%	46.00%	47.50%	2.60%
4	0.80%	34.00%	65.20%	0.00%
5	1.80%	80.00%	15.20%	3.00%
PROMEDIO	2.08%	67.82%	28.68%	1.42%
	<b>2.08%</b>	<b>96.50%</b>		<b>1.42%</b>

TABLA N° 4.4. EVALUACIÓN DEL DESCENTRAMIENTO DEL RACK BT015 DURANTE OPERACIÓN DE CORTE EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

En el caso de rack BT015 el 96.5% del tiempo de corrida, el desplazamiento varía en el rango de  $-\frac{1}{2}$ " a  $+\frac{1}{2}$ ". Por lo tanto para este caso se determina dejar un ancho de desperdicio de  $\frac{1}{2}$ " para cada lado, aprovechando 55" (98.2% del ancho total) de material.

Las razones por las cuales se produce el descentramiento de material también fueron identificadas en los seguimientos y observaciones realizadas encontrándose las siguientes:

- Descentramiento del rack durante enrollado en la manta en el proceso previo.
- Variabilidad del ancho del rack cortado en el proceso previo
- Discontinuidad del empalme manual del material en el proceso previo.



Las razones indicadas corresponden al proceso previo de corte del rack en la cortadora de ángulos, dado que esta máquina cortadora es semiautomática y el ancho de corte es regulado manualmente por el operador esto genera variación que bajo las condiciones actuales no puede disminuirse, debido a que la precisión del corte está restringida por la capacidad y habilidad visual del operador.

Por otro lado, debido al empalme manual de los pliegos se genera un descentramiento entre cortes lo cual también afecta en el proceso de corte en máquina Slitter.

Así mismo, la operación de enrollado en la cortadora de ángulos por ser manual también tiene un grado de error asociado. Debido a que estos factores son como consecuencia de operaciones manuales y están asociados a las habilidades de las personas y a las características y condiciones existentes de la máquina cortadora de ángulos resultaría poco conveniente concentrar los esfuerzos en reducir el desperdicio generado por este factor, ya que las operaciones que requieren precisión al ser realizadas manualmente siempre estarán sujetas a error, para mejorar la precisión del corte se debería contar con un equipo más moderno que incorpore un sistema de corte automático.

De este estudio se concluye que el descentramiento del material es causante de una porción del ancho de material que se desaprovecha siendo estas cantidades las que se muestran a continuación según el tipo de material a cortar.

Producto	Rack	Ancho Total (pulg)	Ancho total desperdiciado por Descentramiento	Ancho disponible (pulg)	% Ancho desperdiciado
Rozadera	J114	28	1 1/2	26 1/2	5.4%
Aleta	T112	28	1 1/4	26 3/4	4.5%
Cap ply	BT015	56	1	55	1.8%

TABLA N° 4.5. PORCENTAJE DE ANCHO DESPERDICIADO POR DESCENTRAMIENTO DE MATERIAL – ELABORACIÓN PROPIA.

Un segundo factor se desprende del seguimiento y control realizado al ancho de material utilizado, de este control se observó que las combinaciones que realiza el operador no son óptimas, dando margen para la mejora pues el desperdicio que se genera es superior al ancho determinado que depende del descentramiento del material, es decir hay una porción del desperdicio total que le corresponde al criterio de combinación empleado durante la corrida.

### **Criterio de Combinaciones de anchos de material**

El segundo factor importante a considerar es el criterio del operador para determinar que combinación de anchos utilizará durante la corrida. Como bien se comentó en la descripción del método de programación actual el operador basado en su propio criterio hace uso de su experiencia para decidir cuál será la combinación a usar en cada corrida.

Sin embargo al ser esta forma de trabajo manual y al depender de la habilidad propia de cada operador existe alta posibilidad de cometer error y generar un desperdicio mayor.

Para ello con el seguimiento realizado se puede evaluar que porción del ancho total desperdiciado corresponde a un error de criterio de programación.

A continuación se muestra estos resultados del seguimiento:

Producto	Rack	Ancho Total (pulg)	Ancho total desperdiciado por criterio de Combinación	% Ancho desperdiciado
Rozadera	J114	28	1.40	5.0%
Aleta	T112	28	1.85	6.6%
Cap ply	BT015	56	3.10	5.5%

TABLA N° 4.6. PORCENTAJE DE ANCHO DESPERDICIADO POR CRITERIO DE COMBINACIÓN DE MATERIAL – ELABORACIÓN PROPIA.

Como resultado global del análisis de ambas causas se ha obtenido el siguiente cuadro resumen en donde se observa en cuanto afecta cada factor causante de desperdicio:

Producto	Rack	Ancho Total (pulg)	Ancho total desperdiciado por Descentramiento	Ancho total desperdiciado por criterio de Combinación	Ancho Disponible
Rozadera	J114	28	1.50	1.40	25.10
Aleta	T112	28	1.25	1.85	24.90
Cap ply	BT015	56	1.00	3.10	51.90

TABLA N° 4.7. ANCHO DE MATERIAL DISPONIBLE CONSIDERANDO EL DESPERDICIADO TOTAL CAUSADO POR AMBOS CRITERIOS – ELABORACIÓN PROPIA.

Del análisis realizado de identificación de causas se concluye que sería conveniente trabajar en mejorar las combinación de anchos utilizada en cada corrida pues esta no implica realizar modificaciones mayores en los procesos y máquinas de planta, con lo cual se obtendría un ahorro con una inversión mínima.

Se plantea esto teniendo en cuenta los recursos limitados con los que se cuenta para este análisis de acuerdo a la directiva dada por la gerencia de Manufactura.

## **4.2 Propuestas de Mejora**

La mejora planteada consiste en desarrollar un aplicativo de fácil manejo que permita obtener combinaciones óptimas para cada corrida. Haciendo uso de ciertas herramientas de la investigación de operaciones puede desarrollarse un programa de optimización de cortes. Más aun considerando que el uso de este tipo de aplicaciones es usada actualmente en otras industrias permitiendo reducciones de desperdicio en sus procesos de corte.

Sin embargo la mejora no consiste únicamente en el diseño de un aplicativo de optimización de cortes, lo que se busca es mejorar el método de programación actual de manera global, es decir mejorar todas las etapas involucradas en este proceso, definiendo las funciones y responsabilidades de cada persona que participe del proceso de programación.

De manera general la programación de la máquina puede desdoblarse en dos etapas principales y que han sido diagramadas y se muestran en el siguiente cuadro.

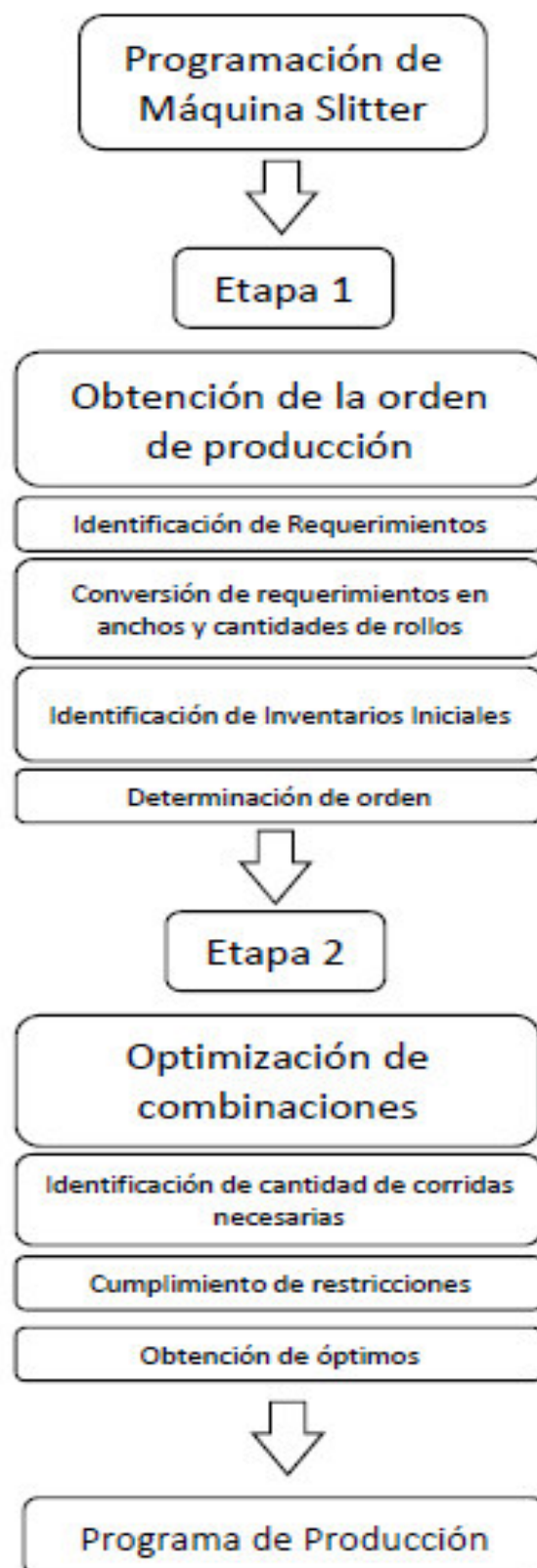


FIGURA N° 4.3. ETAPAS PARA ELABORACIÓN DE PROGRAMA DE PRODUCCIÓN EN MÁQUINA SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA.

### **4.3 Diseño del Software**

Un primer punto a considerar es la etapa de selección de la plataforma para el desarrollo del aplicativo de elaboración del programa de producción de la máquina Slitter.

Para ello se decidió considerar de preferencia entre los programas informáticos con los que la empresa cuenta y tiene licencia de uso.

Entre estos programas se cuenta con Microsoft Excel, cuya principal ventaja es que cuenta con Solver el cual es un complemento gratuito del programa y es una herramienta de análisis que busca el valor óptimo. Además este sistema tiene la ventaja de ser extensamente utilizado y conocido por el personal de la organización.

La empresa no cuenta con otros programas de optimización por lo que se decide trabajar con el software disponible, ya que además cumple con los requerimientos solicitados.

Es decir a través del software seleccionado se pueden desarrollar ambas etapas de la programación, ya que al ser una hoja de cálculo permite llevar una base de datos que incluya toda la información necesaria y permite realizar los cálculos necesarios para determinar la orden en una primera instancia y obtener las combinaciones óptimas luego con el uso del complemento Solver.

Se vio conveniente desarrollar el software haciendo uso de macros con visual basic con la finalidad de automatizar todos los cálculos haciendo mucho más sencillo el manejo del software ya que el usuario no tendrá que ser experto

conocedor de cómo funciona el sistema y solo será necesario presionar un botón para su ejecución.

Esto además porque al ser las órdenes de producción variables según los requerimientos de cada turno significarán que la cantidad de corridas también será variable lo cual de realizarse directamente utilizando Solver mediante la pantalla de entrada de datos que dispone el Excel requeriría realizar modificaciones sobre los parámetros de ingreso según varíe la cantidad de corridas requeridas.

Se consideró que una característica principal de este aplicativo debía ser su facilidad de uso de modo que se convierta en una herramienta de ayuda y no una traba para el sistema actual.

### **Etapas 1: Obtención de la orden de Producción**

Como se ha mencionado el desarrollo del diseño del software puede subdividirse en dos etapas, la primera de ella consiste en obtener la orden de producción.

Para obtener la orden se seguirá una serie de sub etapas que se explican a continuación:

#### **Sub Etapa 1: Registro de Bases de Datos**

Una primera instancia consiste en contar con toda la información necesaria para el desarrollo del software. Para ello se han elaborado 03 registros principales básicos.

- Base 1: Relación de medidas de llantas y máquinas de construcción permite al programa conocer qué medidas son posibles de elaborar en cada una de las máquinas de construcción (línea de ensamble).
- Base 2: Base general de rozaderas, aletas y cap ply permite identificar cuál de estos componentes se requieren para cada llanta y sus especificaciones técnicas (ancho, largo, material, unidades por llanta, etc.).
- Base 3: Base de estándares de construcción permite al programa determinar la cantidad de llantas que produce cada máquina de construcción durante un turno de trabajo, a fin de poder convertirlo luego en cantidad de rollos requeridos por turno.

## **Sub Etapa 2: Cálculo del Requerimiento de llantas durante el turno de trabajo**

Para realizar este cálculo se trabajará principalmente con la base 3. Se elaboró un cuadro el cual se asemeja a la pizarra de construcción que se encuentra en planta y en donde se muestra la medida asignada a cada máquina.

Este cuadro se replicó para los 03 turnos de trabajo y facilita el ingreso de las medidas asignadas a cada máquina mediante una lista desplegable filtrada para cada máquina de manera que solamente muestra las medidas de llantas que se producen en cada una de las máquinas.



Se ha incluido el parámetro llantas/turno el cual se calcula haciendo una consulta a la base de datos #3.

Luego se muestra la columna para ingresar las restricciones, es decir en caso una medida no trabaje durante todo el turno ya sea por un cambio de medida, por cumplimiento de la cantidad de llantas programadas o por cualquier otro motivo se deberá ingresar la cantidad de llantas que realmente se producirán en cada una de las máquinas.

En caso exista un cambio de medida durante el turno se incluye una sección para ingresar la medida a ingresar, mostrando las llantas/turno que le corresponden y la columna de restricciones.

A continuación se muestra una imagen tomada a la pizarra de construcción en donde se visualiza el programa de producción de la línea de ensamble para cada máquina y en los 03 turnos de trabajo y además se muestra el diseño del cuadro de ingreso de medidas asignadas en el área de construcción para un turno de trabajo.

PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN		
M88-1 LT205RI4 SC (50)	LT205RI4 SC (100) CHILL c/m LT195RI5 SC	LT195RI5 SC (1) T
M88-2 604TH% (100) c/m 654TH% c/m	654TH% c/m	654TH% c/m
M88-3 705PI0 VOL	705PI0 T	705PI0 T
M88-4 656TH T	656TH T	656TH (100) c/m 756TH ETD T NYLON 6
M88-5 1502 T	1804 T	1804 T
M88-6 1804 T	1803 T	1803 T
M88-7 1803 T	1803 PLUS T	1803 PLUS (100) c/m 1804 PLUS T
M80-1 1703PUS (100) c/m 1803PLUS T	163 M5TK T	163 M5TK (100) c/m 163 6T200 T
M80-2 163M5TK (90) T	6536 T	6536 (100) c/m 502 6T200 T
M80-3 6536 T	LT205RI4 SC (100) c/m LT195RI5 SC T	LT195RI5 SC T
22 G72-1 LT205RI4 SC T	1803 PLUS T	1803 PLUS (100) c/m 1804 PLUS T
23 G72-2 1703PUS (100) c/m 1803PLUS T	1502 (100) c/m 1804 T	1804 T
19 G72-3 1502 T	163 M5TK T	163 M5TK (100) c/m 163 6T200 T
62 M92-1 163M5TK T	1803 T	1804 T
48 M99-1 1803 T	c/m 1100 TH VOL	1100 TH CHILL NYLON 6,6
M99-3	1100 SP CHILL	1100 SP CHILL NYLON 6,6
M39-1 904TH T	1100 ETD VOL	1100 ETD VOL NYLON 6
M39-2 1100 SP	12.225-16 PUK CHILL	12.225-16 PUK VOL
M39-3 1100 ETD (100) T		
M39-4 F/M		
M39-5 12.225-16 PUK VOL		
M330 17.5-25-16 36% S/p		

FIGURA N° 4.4. PIZARRA CON PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN – ELABORADO POR PROGRAMADOR DE PRODUCCIÓN.

Máquina	MEDIDA	LL / TURNO	RESTR.	C/M	# LL	RESTR.
M88_1		0			0	
M88_2		0			0	
M88_3		0			0	
M88_4		0			0	
M88_5		0			0	
M88_6		0			0	
M88_7		0			0	
M80_1		0			0	
M80_2		0			0	
M80_3		0			0	
M39_1		0			0	
M39_2		0			0	
M39_3		0			0	
M39_4		0			0	
M39_5		0			0	
M_330		0			0	
G72_2		0			0	
		0			0	
		0			0	

TABLA N° 4.8. CUADRO DE REGISTRO DE PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN BASADO EN DISEÑO DE PIZARRA DE CONSTRUCCIÓN – ELABORACIÓN PROPIA

### Sub Etapa 3: Cálculo del Requerimiento de rollos

Una vez que se ha registrado el cuadro de ingreso de medidas de llantas con sus restricciones correspondientes lo que sigue es convertir el requerimiento de llantas en requerimiento de rollos de rozaderas, aletas y cap ply.

Para ello se hace una consulta a la base de datos #2, de donde se obtiene en primer lugar el ancho correspondiente para cada medida de llanta y de igual modo se realiza una consulta para obtener el indicador rollo/llanta.

En el cuadro siguiente se muestra parte de la hoja de cálculo en donde se obtiene la cantidad de rollos requeridos para cada máquina, obtenido de multiplicar las llantas requeridas por máquina por el indicador rollo/llanta.

	ANCHO	ROLLO / LLANTA	ROLLO REQ	ANCHO	ROLLO / LLANTA	ROLLO REQ
M88_1	2 1/4	0.011	2	2 1/2	0.012	4
M88_2	2 1/4	0.012	4			0
M88_3	2 1/2	0.013	0			0
M88_4	2 3/4	0.014	0			0
M88_5	0	0.011	2			0
M88_6	2 1/4	0.012	0			0
M88_7	2 1/4	0.011	4			0
M80_1	0	0.012	0			0
M80_2	0	0.011	4			0
M80_3	2	0.013	0			0
M39_1			0			0
M39_2			0			0
M39_3			0			0
M39_4			0			0
M39_5			0			0
M_330			0			0

TABLA N° 4.9. CUADRO DE OBTENCIÓN DE ROLLOS REQUERIDOS POR MÁQUINA DE CONSTRUCCIÓN – ELABORACIÓN PROPIA

Luego los requerimientos son agrupados por ancho, sin considerar ya en que máquina de construcción se usarán. En el siguiente cuadro se muestra el agrupamiento de rollos por turno de trabajo de acuerdo al ancho de material y por medio de una sumatoria simple se obtiene el requerimiento total de rollos.

TIPO	REQUERIMIENTO 1ºT	REQUERIMIENTO 2ºT	REQUERIMIENTO 3ºT	REQUERIMIENTO TOTAL
T112	4	15	0	19
2 3/4	2	11		13
3				0
3 1/4		3		3
3 1/2				0
3 3/4				0
4	2			2
4 1/2		1		1

TABLA N° 4.10. CUADRO DE OBTENCIÓN DE ROLLOS REQUERIDOS POR ANCHO DE CORTE – ELABORACIÓN PROPIA

#### Sub Etapa 4: Identificación de inventarios iniciales

Conociendo el requerimiento de rollos nos hace falta conocer el inventario inicial de rollos con el que se cuenta, de manera que pueda ser descontado al requerimiento y poder conocer la cantidad de rollos faltantes para cumplir con el programa de producción de la línea de ensamble.

El operador de la Slitter realiza el inventario a inicio de turno, al evaluar el método actual se encontró oportunidades de mejora pues los estantes de almacenamiento no eran usados siguiendo un criterio de ordenamiento establecido. Se determinó señalar los pines de los estantes de manera que cada ancho de material sea almacenado en orden y agrupados para facilitar así la toma de inventarios y agilizar la búsqueda de rollos.



FIGURA N° 4.5. ALMACENAMIENTO DE ROLLOS ANTES DE ROTULADO  
– ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA N° 4.6. ALMACENAMIENTO DE ROLLOS DESPUÉS DE  
ROTULADO – ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA N° 4.7. CONDICIÓN DE ESTANTES DE ALMACENAMIENTO DE ROLLOS ANTES Y DESPUÉS DE ROTULADO – ELABORACIÓN PROPIA

Por otro lado el inventario que realiza el trabajador deberá ser registrado en el aplicativo por el supervisor del turno para poder obtener la orden de producción del nuevo sistema de programación propuesto.

En el siguiente cuadro se muestra parte del programa donde se accede el inventario inicial de cada ancho de material y de cada uno de los tipos de material.

TIPO	REQUERIMIENTO 1ºT	REQUERIMIENTO 2ºT	REQUERIMIENTO 3ºT	REQUERIMIENTO TOTAL	INV. INICIAL
<b>T112</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>24</b>
2 3/4	2	11		13	16
3				0	5
3 1/4		3		3	2
3 1/2				0	
3 3/4				0	
4	2			2	1
4 1/2		1		1	0

TABLA N° 4.11. CUADRO DE REGISTRO DE INVENTARIOS INICIALES POR ANCHO DE MATERIAL – ELABORACIÓN PROPIA



### Sub Etapa 5: Obtención de Orden de Producción

La obtención de la orden de producción a este nivel viene a ser un paso simple debido a que ya se tienen los requerimientos e inventarios iniciales. Basta con restarle al requerimiento el inventario que se tiene obteniéndose así la orden de producción.

A continuación se muestra cuadro donde se muestra la orden obtenida como resultado de la diferencia entre el requerimiento total y el inventario inicial.

TIPO	REQUERIMIENTO 1ºT	REQUERIMIENTO 2ºT	REQUERIMIENTO 3ºT	REQUERIMIENTO TOTAL	INV. INICIAL	ORDEN DE PRODUCCION
T112	4	15	0	19	24	3
2 3/4	2	11		13	16	0
3				0	5	0
3 1/4		3		3	2	1
3 1/2				0		0
3 3/4				0		0
4	2			2	1	1
4 1/2		1		1	0	1

TABLA N° 4.12. CUADRO DE OBTENCIÓN DE ORDEN DE PRODUCCIÓN – ELABORACIÓN PROPIA

Habiéndose completado este paso se da por finalizada la primera etapa del sistema de programación. A este nivel ya contamos con la orden de producción, quedando por realizar la combinatoria optima que permita reducir el desperdicio verde.

## **Etapla 2: Optimización de Combinaciones**

La optimización de combinaciones será desarrollada siguiendo un modelo matemático diseñado y ajustado a las necesidades del proceso propio de corte en máquina Slitter. Dentro de estas necesidades se destacan las siguientes:

- Se requiere que el tiempo de procesamiento del software sea el menor posible para evitar demoras en la entrega del programa de producción.
- Se requiere que el programa elaborado determine soluciones óptimas, de modo que el material a utilizar sea aprovechado correctamente.

Se tomó en consideración inicialmente aplicar el modelo de optimización basado en uso de patrones de corte sin embargo al desarrollar esta metodología fue puesto en observación una serie de dificultades que por su grado de severidad fueron determinantes para decidir no hacer uso de este enfoque. Estas dificultades se describen a continuación:

- Al contar con una gran cantidad de anchos menores (15 anchos para el caso de rozadera J114) la cantidad de patrones necesarios se incrementa considerablemente, teniendo como restricción que el número de celdas variables en Excel es como máximo 200.
- Debido a que durante un turno de trabajo de acuerdo a los niveles de producciones actuales se realizan 6 a 7 corridas entre rozaderas, aletas y cap ply esto significa que cada patrón será usado en su mayoría de veces una única vez.



- Al trabajar con patrones ciertos productos se deben realizar en mayor cantidad a lo requerido como consecuencia del uso de patrones pre definidos. Esto como consecuencia que la restricción que se dispone en el modelo indica que la cantidad de rollos designados será mayor o igual a las demandas, por tanto no se garantizan cantidades exactas de cada rollo.
- Debido a la corta vida útil de los rollos cortados de acuerdo al tiempo máximo de envejecimiento establecido, una producción adicional de rollos no deseados o requeridos significa un alto riesgo de envejecimiento y pérdida de material.

Como consecuencia de las dificultades mencionadas el uso de este modelo no es conveniente para este tipo de operación de corte en máquina Slitter. Por ello se decide trabajar sin hacer uso de patrones de corte y se opta por trabajar bajo un enfoque de asignación directa de rollos en busca de optimizar el ancho total. La principal razón de seleccionar este enfoque es por la reducida cantidad de corridas por turno que deben realizarse. Sin lugar a dudas se presentará la situación mencionada en la cual la cantidad de requerimientos sea menor a lo necesario para lograr un resultado óptimo. Lo que se plantea para dar solución a este problema es en base a los niveles de consumo de cada tipo de producto definir cuáles de ellos son de uso frecuente y no se encuentran expuestos a envejecimiento por tiempo de almacenamiento de modo que estos productos sean usados de forma especial pudiéndose producir en cantidades superiores a las del requerimiento teniendo como respaldo que por ser de consumo frecuente serán usados en el corto plazo y no se generará desperdicio adicional.

El modelo planteado trata de adecuarse a las necesidades y condiciones existentes en la empresa donde se aplicará es por ello que se están planteando ciertas variaciones y adecuaciones tendientes a conseguir los mejores resultados posibles bajo las condiciones dadas.

El modelo planteado es un modelo de programación lineal entera pura puesto que el número de rollos a cortar deben ser enteros.

La optimización de combinaciones será desarrollada siguiendo un modelo matemático diseñado y ajustado a las necesidades del proceso propio de corte en máquina Slitter.

Debido a que la cantidad de rollos requeridos por turno de trabajo es mayor que el ancho del objeto fijo esto significa que serán necesarias varias corridas para completar la orden de trabajo, Como consecuencia de ello es lógico comprender que la sumatoria de anchos de los rollos requeridos debe ser menor a la sumatoria de anchos de los objetos fijos a ser usados por lo tanto esa diferencia sería un desperdicio de material. La solución planteada para sacar el máximo provecho a ese ancho de material sobrante consiste en utilizarlo produciendo rollos de medidas frecuentes, es decir si bien estos rollos no son requeridos de acuerdo a la orden de producción debido a su alta frecuencia de consumo serán usados en el corto plazo y permitirá un mejor aprovechamiento del material excedente.

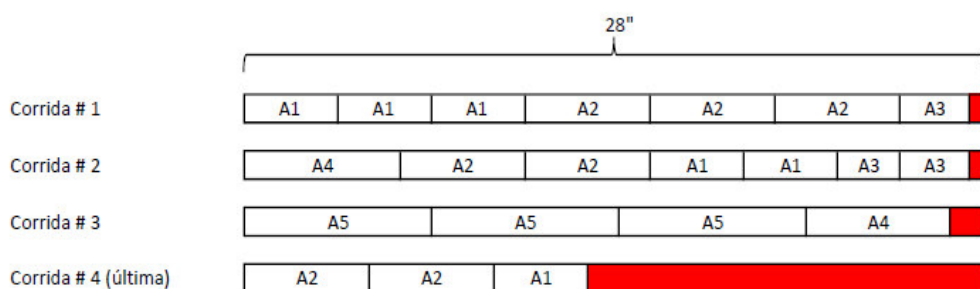
En la figura N° 4.8. se muestra un ejemplo a manera de comprender mejor que sucede si se produce únicamente la orden de producción y como se puede aprovechar el material sobrante produciendo adicionalmente rollos que tengan un consumo frecuente.

### EJEMPLO:

Se considera la siguiente orden de producción para el turno de trabajo.

Producto	Orden	Frecuencia de Consumo
A1	6	Alta
A2	7	Baja
A3	3	Alta
A4	2	Baja
A5	3	Baja

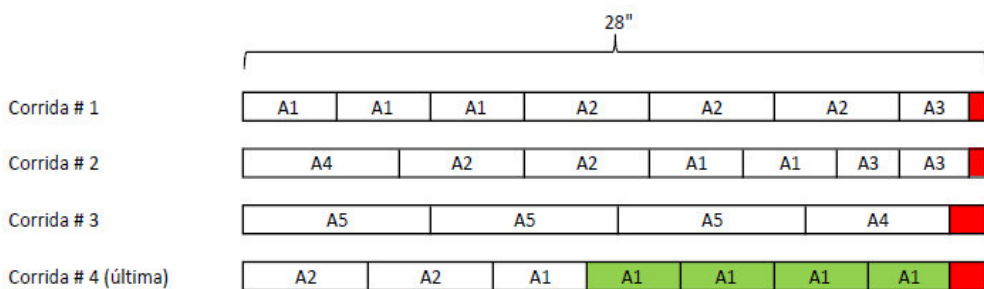
Alternativa A: Solo se produce las cantidades indicadas por la orden de producción



Producto	Orden	Producido
A1	6	6
A2	7	7
A3	3	3
A4	2	2
A5	3	3

Desperdicio de material

Alternativa B: Se produce la orden de producción y se aprovecha el ancho disponible produciendo productos con alta frecuencia de consumo.



Producto	Orden	Producido	Adicional
A1	6	10	4
A2	7	7	-
A3	3	4	-
A4	2	2	-
A5	3	3	-

Desperdicio de material

Productos Adicionales

FIGURA N° 4.8. COMPARATIVA UTILIZACIÓN DE CONDICION DE ROLLOS EXTRAS – ELABORACIÓN PROPIA.

En consecuencia el modelo matemático deberá ser desarrollado de manera que se cumplan la condición deseada de producción de rollos extras según frecuencia de consumo.

Por otro lado, es importante lograr obtener la combinación óptima en el menor tiempo posible para evitar retrasos en entregar el programa de producción. Este factor representa un problema si se desea obtener el resultado realizando una única iteración global. De las propias pruebas realizadas con el Excel se encontró que trabajando con una única iteración global el tiempo de ejecución del software era elevado (mayor inclusive a 5 minutos por iteración de cada producto) y no era factible su uso en la planta pues generaría malestar en los trabajadores y en el supervisor, retrasando las operaciones de trabajo y significando una posible pérdida de productividad. Se realizó una variación en el método realizando múltiples iteraciones, es decir se ejecuta el programa por cada corrida requerida, de esta manera la cantidad de variables se reduce y esto permite encontrar una solución óptima en un menor tiempo, es por ello que se decidió hacer uso de este enfoque.

Se ha determinado elaborar un modelo matemático para las corridas previas a la última y otro modelo adicional para la última corrida en donde se considere esta condición de rollos extras.

En el primer modelo matemático como se busca optimizar el uso del ancho de material entonces se definirá la función objetivo como una función de maximización la cual estará sujeta a las siguientes restricciones:

- La cantidad de rollos producidos de cada ancho debe ser menor o igual a la cantidad de rollos solicitados de cada ancho en la orden de producción.
- El ancho total utilizado debe ser menor o igual al ancho disponible total
- El número de rollos debe ser entero y mayor a cero.

Por tanto el modelo matemático puede diagramarse de la siguiente forma:

**Maximizar**

$$Z = \sum x(i) * a(i)$$

**Sujeto a:**

$$\sum x(i) \leq Orden(i)$$

$$\sum x(i) * a(i) \leq Ancho Disponible$$

$$x(i) \in \mathbb{Z} \text{ (enteros)} / x(i) \geq 0$$

Dónde:

$x(i)$  Cantidad de rollos de tipo (i)

$a(i)$  Ancho de corte del rollo tipo (i)

$Orden(i)$  es la cantidad de rollos requeridos del tipo (i)

$Ancho Disponible$  es el ancho disponible del objeto fijo

FIGURA N° 4.9. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CORRIDAS INICIALES – ELABORACIÓN PROPIA.

Este primer modelo matemático será usado reiteradas veces mientras que no se llegue a la corrida final. La orden de producción de cada corrida irá variando en función a los rollos ya producidos en las corridas previas, es decir la orden de

producción se va ajustando de acuerdo a los rollos que van quedando pendientes por producir.

El segundo modelo matemático se usará únicamente para la corrida final en la que se buscará completar exactamente las cantidades solicitadas para los rollos de anchos no frecuentes y se permitirá producir en cantidades superiores a la orden para rollos de anchos frecuentes según la figura N° 4.10. para aprovechar óptimamente el ancho disponible durante la última corrida de rollos solicitados.

En este segundo modelo como también se busca optimizar el uso del ancho de material entonces se definirá la función objetivo como una función de maximización la cual estará sujeta a las siguientes restricciones:

- La cantidad de rollos producidos de cada ancho no frecuente debe ser igual a la cantidad de rollos solicitados de cada ancho no frecuente en la orden de producción.
- La cantidad de rollos producidos de cada ancho frecuente debe ser mayor o igual a la cantidad de rollos solicitados de cada ancho frecuente en la orden de producción.
- El ancho total utilizado debe ser menor o igual al ancho disponible total
- El número de rollos debe ser entero y mayor a cero.

Por tanto el modelo matemático puede diagramarse de la siguiente forma:

**Maximizar**

$$Z = \sum x(i) * a(i) + \sum y(i) * a(i)$$

**Sujeto a:**

$$\sum x(i) = Orden(i) \quad ** \text{ anchos no frecuentes}$$

$$\sum y(i) \geq Orden(i) \quad ** \text{ anchos frecuentes}$$

$$\sum x(i) * a(i) + \sum y(i) * a(i) \leq Ancho Disponible$$

$$x(i), y(i) \in \mathbb{Z} \text{ (enteros)} / x(i) \geq 0, y(i) \geq 0$$

Dónde:

$x(i)$  Cantidad de rollos no frecuentes de tipo (i)

$y(i)$  Cantidad de rollos frecuentes de tipo (i)

$a(i)$  Ancho de corte del rollo tipo (i)

$Orden(i)$  es la cantidad de rollos requeridos del tipo (i)

$Ancho Disponible$  es el ancho disponible del objeto fijo

FIGURA N° 4.10. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CORRIDA FINAL – ELABORACIÓN PROPIA.

De esta manera iterativa en las corridas previas a la última se usará el primer modelo matemático propuesto y en la última corrida de acuerdo a las restricciones indicadas se completará la cantidad exacta de rollos con anchos no frecuentes y en el caso de rollos de anchos frecuentes se permite producir rollos extras con la finalidad de optimizar también la última corrida.

Estos dos modelos matemáticos revisados han sido mostrados de forma esquemática inicialmente para su entendimiento pero al momento de ser usados en el código de programación serán representados haciendo uso de las funciones de Solver para Visual Basic.

### Sub Etapa 1: Identificación de cantidad de corridas necesarias

Dado que el aplicativo obtendrá la orden de producción para un turno de trabajo, esto quiere decir que en función a la exigencia del programa (mayor o menor requerimiento) variará la cantidad de corridas necesarias. Por tanto un primer paso es identificar cuantas corridas se requerirán para cumplir la orden y en base a ello en cada una de las corridas se realizará la optimización según el modelo matemático que le corresponda de manera que cada corrida sea lo más óptima posible.

Para esto se trabaja con un bucle “Do Until” el cual repite la secuencia necesaria de códigos para la optimización de cada corrida y un condicional “If” que evalúa si la corrida actual es la última o no y permitirá luego realizar la selección del modelo matemático que corresponda.

```
runAgain = 0
columna = 22

Do Until runAgain = 1
    If Cells(98, 31) > Cells(90, 25) Then
    Else
        runAgain = 1 'INDICA QUE SE LLEGÓ A LA ULTIMA CORRIDA, LUEGO FINALIZA COMANDO DO.
    End If
```

El comando “Do Until” repetirá la secuencia de códigos sucesivas veces mientras la variable llamada runAgain definida con valor inicial 0 no tome el valor 1. La condición “If” utilizada en el código evalúa si el ancho autoajustado y requerido en cada corrida es mayor al ancho disponible del objeto fijo, si el resultado es verdadero se siguen realizando iteraciones



repetitivas, si el resultado es falso la variable runAgain toma el valor 1 y no se realizarán más iteraciones.

## Sub Etapa 2: Selección de Función Objetivo y Celdas Variables

El rango variable, compuesto por las celdas variables, son todas aquellas celdas que Solver evaluará asignándoles valores enteros y mayores o iguales a cero. En el Excel se cuenta con una hoja llamada “CALCULO” que interactúa con el código de programación en Visual Basic pues todos los datos necesarios son recogidos por el código de esta hoja de cálculo.

A modo de ejemplo se hará la explicación tomando como ejemplo el producto J114. Como se aprecia en la figura N°4.11. el rango variable de la corrida N°1 corresponde a las celdas enmarcadas en color rojo.

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
102								
103								
104	20	21	22	23	24	25	26	27
105								
106			0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
107		1 7/8						
108		2 1/8						
109		2 1/4						
110		2 3/8						
111		2 5/8						
112		2 7/8						
113		3 1/8						
114		3 3/8						
115		3 5/8						
116		3 7/8						
117		4 1/8						
118		4 5/8						
119		4 7/8						
120		5 1/8						
121		5 3/8						

FIGURA N° 4.11. SELECCIÓN DEL RANGO VARIABLE DEL PRODUCTO J114 – ELABORACIÓN PROPIA.

Como se puede observar en la figura N° 4.11. el rango variable de la 1ra corrida sería V107:V121 donde a la columna V si la queremos representar numéricamente le corresponde la columna 22 de la hoja de Excel.

Debido a que estamos usando un bucle y se realizarán varias corridas al momento de la codificación se utiliza una variable denominada “columna” que toma valor inicial igual a 22 (corresponde a 1ra columna) e irá aumentando en 1 unidad cada vez que se realice una iteración.

En Visual Basic para poder obtener el rango variable debemos hacer la conversión de la variable columna que es un valor numérico a su equivalencia alfabética que le corresponde, es decir para el ejemplo de la primera corrida se debe transformar el valor 22 en la letra “V”.

Para ello se hace uso de la función denominada NumeroAColumna y el código Visual Basic quedará definido así:

```
'DETERMINAR EL RANGO VARIABLE
    MyColumn = columna
    Call NumeroAColumna
    RangoVariable = MyColumnLetter & 107 & ":" & MyColumnLetter & 121

Sub NumeroAColumna()

If MyColumn > 26 Then
    MyColumnLetter = Chr(Int((MyColumn - 1) / 26) + 64) & Chr(((MyColumn - 1) Mod 26) + 65)
Else
    MyColumnLetter = Chr(MyColumn + 64)
End If

End Sub
```

La celda objetivo en Excel se muestra en la figura N° 4.12. y a modo de ejemplo para la 1ra corrida estaría definida por la celda V106. Esta celda

contiene la función =SUMAPRODUCTO(\$U\$107:\$U\$121,V107:V121) de modo que el valor que tome será el ancho aprovechado del material, este valor depende de los valores asignados a las celdas variables.

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
102								
103								
104	20	21	22	23	24	25	26	27
105								
106		0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
107	1 7/8							
108	2 1/8							
109	2 1/4							
110	2 3/8							
111	2 5/8							
112	2 7/8							
113	3 1/8							
114	3 3/8							
115	3 5/8							
116	3 7/8							
117	4 1/8							
118	4 5/8							
119	4 7/8							
120	5 1/8							
121	5 3/8							
122								

FIGURA N° 4.12. SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO VARIABLE DEL PRODUCTO J114 – ELABORACIÓN PROPIA.

Para indicar en el software de Visual Basic la celda objetivo que corresponde a la corrida actual se utiliza la función SolverOk. Esta función se representa de la siguiente forma y contiene los siguientes parámetros:

SolverOk (*SetCell*, *MaxMinVal*, *ByChange*)

- SetCell: Define la celda objetivo que se desea optimizar.
- MaxMinVal: Se determina si se realizará un problema de maximización, indicado por el número 1 o un problema de minimización indicado por el número 0.

- ByChange: Indica el rango variable el cual está conformado por las celdas cambiantes que se mencionó previamente.

A modo de ejemplo para el producto J114 el código ingresado en el Visual Basic es de la siguiente manera:

```
'FUNCION OBJETIVO / MAXIMIZACION / CELDAS VARIABLES
solverok SetCell:=Cells(106, columna), MaxMinVal:=1, ByChange:=Range(RangoVariable)
```

La variable “columna” inicia con valor 22 (correspondiente a la columna “V”. Ver figura N° 4.12.) e irá incrementando su valor en 1 unidad en cada iteración mediante la línea de código: columna = columna + 1

### **Sub Etapa 3: Determinación de Restricciones**

Luego de definir la función objetivo y las celdas variables corresponde definir las restricciones del modelo. Para ello se hace uso de la función SolverAdd utilizada en Visual Basic. Esta función se expresa de la siguiente manera y contiene los siguientes parámetros.

*SolverAdd(CellRef, Relation, FormulaText)*

- CellRef: Se indica la celda de Excel que se desea restringir. Representa el lado izquierdo de una restricción.
- Relation: Es la relación aritmética entre los ambos lados de la restricción. Puede tomar los siguientes valores:

Relación	Relación Aritmética
1	$\leq$
2	$=$
3	$\geq$
4	Aquellas celdas a las que <i>CellRef</i> haga referencia deben tener valores finales que sean enteros.
5	Aquellas celdas a las que <i>CellRef</i> haga referencia deben tener valores finales de 0 (cero) o 1.
6	Aquellas celdas a las que <i>CellRef</i> haga referencia deben tener valores finales que sean todos diferentes y enteros.

Tabla N° 4.13. TIPOS DE RELACIONES ARITMÉTICAS ENTRE AMBOS LADOS DE LA RESTRICCIÓN – ELABORACIÓN PROPIA.

- FormulaText: Se indica la celda de Excel que hará la función del lado derecho de la restricción.

### Restricción de Enteros y Valores Positivos

Esta restricción se define en Visual Basic de la siguiente forma:

```
'NUMERO DE CORTES DEBE SER ENTERO Y MAYOR A CERO
solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=4 'CONDICION DE ENTEROS
solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=3, FormulaText:=0 'CONDICION DE MAYOR A CERO
```

Esta restricción garantiza que las celdas variables, es decir el número de cortes seleccionados, sean valores enteros puesto que no se podría determinar cortar fracciones de rollos.

### Restricción de Ancho aprovechado

Esta restricción para el caso del producto rozadera (J114) se define en Visual Basic de la siguiente forma:

```
'SUMA DE CORTES DEBE SER MENOR O IGUAL AL ANCHO DISPONIBLE  
solveradd CellRef:=Cells(106, column), Relation:=1, FormulaText:=Cells(89, 25)
```

Esta restricción garantiza que el aprovechamiento de anchos de cortes por corrida no sea mayor al ancho disponible del objeto fijo. En este caso como se puede apreciar se hace mención a la celda (89,25). Como se aprecia en el la figura N° 4.13. esta celda toma el valor de 26.5 pulgadas como restricción del ancho máximo a utilizar para las corridas del rack J114.

82						
83	20	21	22	23	24	25
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						

ANCHOS DEL MATERIAL (PULGADAS)			
	TOTAL	BORDES	DISPONIBLE
ROZADERA	28	1.5	26.50
ALETA	28	1.25	26.75
CAP PLY	56	1	55.00

FIGURA N° 4.13. RESTRICCIÓN DE ANCHO MAXIMO DISPONIBLE POR CORRIDA. – ELABORACIÓN PROPIA

## Restricción de Cantidad de Rollos Requeridos y Restricción de Rollos Extras por Frecuencia de Consumo

Esta restricción para el caso del producto rozadera (J114) se define en Visual Basic de la siguiente forma:

```
'ROLLOS DEBEN SER MENOR O IGUAL A LO REQUERIDO Y ROLLOS EXTRAS DEBEN SER SOLO DEL TIPO INDICADO

If Cells(106, 31) > Cells(89, 25) Then 'RESTRICCIÓN PARA CORRIDAS PREVIAS A LA ULTIMA
    solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=1, FormulaText:=Range("AF107:AF121") 'RELACION <=

Else 'EN CASO SE TRATE DE LA ULTIMA CORRIDA, VERIFICAR CONDICION DE ROLLOS EXTRAS PARA CADA ANCHO
    contador = 0
    fila = 107
    Do Until contador = 15
        If Cells(fila, 16) = 0 Then 'SIN CONDICION DE ROLLOS EXTRAS
            solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=2, FormulaText:=Cells(fila, 32)
            fila = fila + 1
        Else 'CON CONDICION DE ROLLOS EXTRAS
            solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=3, FormulaText:=Cells(fila, 32)
            fila = fila + 1
        End If
        contador = contador + 1
    Loop
End If
```

Inicialmente se utiliza una función “If” para determinar cuál modelo matemático utilizar, es decir si se trata de la última corrida (2do modelo matemático) o de corridas previas a la última (1er modelo matemático) la comparación que se realiza es evaluar si la celda (106,31) cuyo valor es determinado por la fórmula:

SUMAPRODUCTO(\$U\$107:\$U\$121,\$AC\$107:\$AC\$121)

Es decir evaluar si el ancho total requerido actualmente es mayor a la celda (89,25) que hace referencia al ancho disponible del objeto fijo.

En caso se trate de corridas previas a la última entonces la restricción a usarse para restringir la cantidad de rollos a cortar será:

```
solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=1, FormulaText:=Range("AF107:AF121") 'RELACION <=
```

Como se puede apreciar en la Figura N° 4.14. en el rango “AC107:AC121” se coloca la orden de producción variable pero como estas celdas contienen una fórmula, que calcula la orden de producción variable a partir de la orden de producción inicial, entonces se copian estas celdas como valor en la columna “AF”.

```
'COPIAR ORDEN DE PRODUCCIÓN VARIABLE COMO VALOR
Range("AC107:AC121").Select
Selection.Copy
Range("AF107:AF121").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

Es por ello que en la restricción se aprecia que hace referencia a la columna “AF”.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with columns T through AF and rows 100 through 121. A table is visible in the range AC107:AC121, and another table is visible in the range AF107:AF121. The table in AF107:AF121 is titled 'ORDEN DE PRODUCCION VARIABLE' and contains a single row with the value 0 in column AF107 and 0 in column AF121.

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
100													
101		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
102													
103													
104													
105													
106													
107													
108													
109													
110													
111													
112													
113													
114													
115													
116													
117													
118													
119													
120													
121													

FIGURA N° 4. 14. RESTRICCIÓN DE CANTIDAD DE ROLLOS REQUERIDOS POR ANCHO – ELABORACIÓN PROPIA

En caso se trate de la última corrida en esa situación entra a tallar la evaluación si se trata de un rollo frecuente o no. Para ello se utiliza las celdas de la de Condición de rollos extras ubicadas en la columna “P” o su equivalente numérico columna 16. A estas celdas de condición de rollos extras se les asigna el valor de 1 o 0 indicando el valor de 1 que es un ancho



rollo de ancho frecuente y el valor de 0 que no es un rollo de ancho frecuente. Cabe señalar que se pueden seleccionar la cantidad de rollos frecuente que uno desee. Así como cambiar su condición de frecuente o no según sea el caso y en función a su nivel de consumo actual.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
96																	
97		TIPO	REQUERIMIENTO 1°T	REQUERIMIENTO 2°T	REQUERIMIENTO 3°T	REQUERIMIENTO TOTAL	INV. INICIAL	ORDEN DE PRODUCCION	CONDICION	ROLLOS EXTRAS							
98		T112	27	0	0	27	10	17	5								
99		2 3/4	17	0	0	17	10	7	1								
100		3	3	0	0	3	0	3	1								
101		3 1/4	3	0	0	3	0	3	1								
102		3 1/2	0	0	0		0	0	0								
103		3 3/4	2	0	0	2	0	2	1								
104		4	2	0	0	2	0	2	1								
105		4 1/2	0	0	0		0	0	0								
106		J114	35	0	0	35	5	30	4								
107		1 3/4	0	0	0		0	0	0								
108		2	10	0	0	10	2	8	0								
109		2 1/8	0	0	0		0	0	0								
110		2 1/4	14	0	0	14	2	12	1								
111		2 1/2	6	0	0	6	1	5	1								
112		2 3/4	2	0	0	2	0	2	1								
113		3	0	0	0		0	0	1								
114		3 1/4	0	0	0		0	0	0								
115		3 1/2	0	0	0		0	0	0								
116		3 3/4	0	0	0		0	0	0								
117		4	2	0	0	2	0	2	0								
118		4 1/2	0	0	0		0	0	0								
119		4 3/4	0	0	0		0	0	0								
120		5	1	0	0	1	0	1	0								
121		5 1/4	0	0	0		0	0	0								

FIGURA N° 4.15. SELECCIÓN DE CONDICIÓN DE ROLLOS EXTRAS PARA ANCHOS DE USO FRECUENTE – ELABORACIÓN PROPIA

Se utiliza un condicional para verificar si se trata de un rollo frecuente o no. Si la condicional es 0 quiere decir que no es un rollo frecuente por tanto la cantidad de rollos a cortar debería ser exactamente igual al requerimiento de producción. Y se define por el siguiente código cuya relación = 2, hace referencia a una relación de igualdad.

```
If Cells(fila, 16) = 0 Then 'SIN CONDICION DE ROLLOS EXTRAS
    solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=2, FormulaText:=Cells(fila, 32)
    fila = fila + 1
```

En caso la condicional sea distinto de cero, entonces quiere decir que se trata de un rollo frecuente por tanto este tipo de rollos pueden cortarse en

cantidades superiores a la orden de producción. Y se define por el siguiente código cuya relación = 3 hace referencia a una relación de mayor o igual.

```
Else 'CON CONDICION DE ROLLOS EXTRAS
    solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=3, FormulaText:=Cells(fila, 32)
    fila = fila + 1
End If
contador = contador + 1
```

Una vez que se han realizado todas las restricciones en base a los modelos matemáticos definidos previamente, se utiliza la función SolverSolve y SolverFinish para la ejecución del algoritmo de optimización de Solver y para mantener los resultados obtenidos respectivamente. Esto mediante la utilización del siguiente código:

```
SolverSolve UserFinish:=True
SolverFinish KeepFinal:=1
```

De esta manera mediante las 3 sub etapas descritas se concluye la explicación del código utilizado en Visual Basic referente a los modelos matemáticos de optimización establecidos.

#### **Sub Etapa 4: Preparación de Hoja de Registro de Corridas y Estimación de Desperdicio Verde por Corrida.**

Cuando el aplicativo ya ha realizado la optimización la siguiente acción consiste en generar la hoja donde se muestra el registro de corridas realizadas por el aplicativo, se estima el desperdicio que se generará durante cada corrida y el porcentaje de aprovechamiento de material.

Para el cálculo del desperdicio estimado se hace uso de la siguiente información:

PRODUCTO	Kg /m <sup>2</sup>	LONG. MANTA
ROZADERA	0.547	100
ALETA	0.622	100
CAP PLY	0.944	65

TABLA N° 4.14. RELACIÓN KILOS POR METRO CUADRADO DE MATERIAL Y LONGITUD DE MANTA – ELABORACIÓN PROPIA

De manera que la estimación del desperdicio verde queda definida por la siguiente fórmula:

$$\text{Desperdicio} = (\text{Ancho Total del objeto fijo} - \text{Ancho aprovechado}) * 0.0254 \\ * \text{Longitud de Manta} * (\text{Kg/m}^2)$$

El porcentaje de aprovechamiento de material se define por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Aprovechamiento} = \frac{\text{Ancho Aprovechado}}{\text{Ancho Total del Objeto}}$$

Además se muestra como información adicional la fecha, el turno, el tipo de producto y la hora en que se ejecuta cada corrida. Este control sirve como registro e historial de las corridas realizadas y pueden ser revisadas cuando se desee.

En el aplicativo se hace uso del siguiente código para generar este reporte:

```
'REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE
Call verultimoregistro
Sheets("CALCULO").Activate
Peso = Cells(89, 28).Value
LongManta = Cells(89, 29).Value
Desperdicio = (Cells(89, 23).Value - Cells(106, columna).Value) * 0.0254 * LongManta * Peso
Aprovechamiento = Cells(95, columna).Value
Sheets("PROGRAMA DE PROD").Select
Fecha = Date
Turno = Cells(3, 5).Value
Hora = Time
```

En esta primera etapa se le asigna valores a las variables y a continuación en la siguiente parte del código se copian los valores de las variables en la hoja Control de Desperdicio. Como en el reporte se van añadiendo los valores de forma sucesiva uno tras otro para ello se usa la función “verultimoregistro” que cuenta la cantidad de filas actuales de modo que se pueda asignar a la variable “ultimoregistro” la ubicación de la fila siguiente para evitar que se sobrescriban datos y haya una pérdida de información.

```
Sub verultimoregistro()

Sheets("CONTROL DE DESPERDICIO").Activate
Range("C4").Select
ultimoregistro = Range("C5").CurrentRegion.Rows.Count + 5

End Sub

'PASAR LA INFORMACION A BD
Sheets("Control de Desperdicio").Activate
Cells(ultimoregistro, 3) = Fecha
Cells(ultimoregistro, 4) = Turno
Cells(ultimoregistro, 5) = "J114"
Cells(ultimoregistro, 6) = Desperdicio
Cells(ultimoregistro, 7) = Aprovechamiento
Cells(ultimoregistro, 8) = Hora
```

Relacionando las celdas de la hoja “CALCULO” con los códigos y funciones usados en Visual Basic es que ha se desarrollado este aplicativo como se ha mostrado tomando de ejemplo el producto J114, de igual modo se realiza la codificación para los productos T112 y Cap Ply siguiendo los mismos principios.

A continuación se muestra el código de optimización completo para los 3 productos que se cortan en la máquina Slitter.

### **Código del Software de Optimización**

```
Dim MyColumn, ultimoregistro, columna As Integer
```

```
Dim MyColumnLetter, RangoVariable As String
```

```
Sub Generar_Programa()
```

```
Application.EnableCancelKey = xlDisabled
```

```
Dim fila, columna, contador As Integer
```

```
Call desbloquearhoja
```

```
Sheets("INICIO").Activate
```

```
Cells(30, 19).Value = "PROCESANDO T112..."
```

```
Cells(30, 19).Font.Color = RGB(255, 0, 0)
```

```
'VACIAR CELDAS VARIABLES T112
```

```
Sheets("CALCULO").Activate
```

```
Range("V99:AA105").ClearContents
```

```
'VACIAR CELDAS VARIABLES J114
```

```
Range("V107:AA121").ClearContents
```

'VACIAR CELDAS VARIABLES CAP PLY

Range("V123:AA128").ClearContents

'T112 - OPTIMIZACIÓN

\*\*\*\*\*

Sheets("CALCULO").Activate

If Cells(98, 29) > 0 Then ' SI NO HAY ORDEN DE ESTE PRODUCTO SE  
CONTINUARÁ CON SIGUIENTE PRODUCTO

runAgain = 0

columna = 22

Do Until runAgain = 1

If Cells(98, 31) > Cells(90, 25) Then

Else

runAgain = 1 'INDICA QUE SE LLEGÓ A LA ULTIMA CORRIDA,  
LUEGO FINALIZA COMANDO DO.

End If

SolverReset

SolverOptions Precision:=0.000001

SolverOptions MaxTime:=90

'DETERMINAR EL RANGO VARIABLE

MyColumn = columna

Call NumeroAColumna

RangoVariable = MyColumnLetter & 99 & ":" & MyColumnLetter & 105

'FUNCION OBJETIVO / MAXIMIZACION / CELDAS VARIABLES

solverok SetCell:=Cells(98, columna), MaxMinVal:=1,  
ByChange:=Range(RangoVariable)

'NUMERO DE CORTES DEBE SER ENTERO Y MAYOR A CERO

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=4 ' CONDICION DE  
ENTEROS

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=3, FormulaText:=0 '  
CONDICION DE MAYOR A CERO

'SUMA DE ANCHOS DE CORTES DEBE SER MENOR O IGUAL AL  
ANCHO DISPONIBLE

solveradd CellRef:=Cells(98, columna), Relation:=1,  
FormulaText:=Cells(90, 25)

'COPIAR ORDEN DE PRODUCCIÓN VARIABLE COMO VALOR

Range("AC99:AC105").Select

Selection.Copy

Range("AF99:AF105").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

'ROLLOS DEBEN SER MENOR O IGUAL A LO REQUERIDO Y ROLLOS  
EXTRAS DEBEN SER SOLO DEL TIPO INDICADO

If Cells(98, 31) > Cells(90, 25) Then 'RESTRICCIÓN PARA CORRIDAS  
PREVIAS A LA ULTIMA

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=1,  
FormulaText:=Range("AF99:AF105")

Else 'EN CASO SE TRATE DE LA ULTIMA CORRIDA, VERIFICAR  
CONDICION DE ROLLOS EXTRAS PARA CADA ANCHO

contador = 0

fila = 99

Do Until contador = 7

If Cells(fila, 16) = 0 Then 'SIN CONDICION DE ROLLOS EXTRAS

solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=2,  
FormulaText:=Cells(fila, 32) 'NUMERO DE ROLLOS IGUAL A LA ORDEN  
FALTANTE

fila = fila + 1

Else 'CON CONDICION DE ROLLOS EXTRAS

solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=3,  
FormulaText:=Cells(fila, 32) 'NUMERO DE ROLLOS PUEDE SER MAYOR A  
LA ORDEN FALTANTE

fila = fila + 1

End If

contador = contador + 1

Loop

End If

SolverSolve UserFinish:=True

SolverFinish KeepFinal:=1

'REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

Call verultimoregistro

Sheets("CALCULO").Activate

Peso = Cells(90, 28).Value



```

LongManta = Cells(90, 29).Value

Desperdicio = (Cells(90, 23).Value - Cells(98, columna).Value) * 0.0254 *
LongManta * Peso

Aprovechamiento = Cells(94, columna).Value

Sheets("PROGRAMA DE PROD").Select

Fecha = Date

Turno = Cells(3, 5).Value

Cells(4, 11).Value = Time

Hora = Time

'PASAR LA INFORMACION A BD

Sheets("Control de Desperdicio").Activate

Cells(ultimoregistro, 3) = Fecha

Cells(ultimoregistro, 4) = Turno

Cells(ultimoregistro, 5) = "T112"

Cells(ultimoregistro, 6) = Desperdicio

Cells(ultimoregistro, 7) = Aprovechamiento

Cells(ultimoregistro, 8) = Hora

Sheets("CALCULO").Activate

columna = columna + 1 'IMPORTANTE COLOCAR ESTA FILA LUEGO
DE REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

Loop

Else

End If

'J114 - OPTIMIZACIÓN

'*****

```

If Cells(106, 29) > 0 Then ' SI NO HAY ORDEN DE ESTE PRODUCTO SE  
CONTINUARÁ CON SIGUIENTE PRODUCTO

runAgain = 0

columna = 22

Do Until runAgain = 1

If Cells(106, 31) > Cells(89, 25) Then

Else

runAgain = 1 'INDICA QUE SE LLEGÓ A LA ULTIMA CORRIDA,  
LUEGO FINALIZA COMANDO DO.

End If

SolverReset

SolverOptions Precision:=0.000001

SolverOptions MaxTime:=90

'DETERMINAR EL RANGO VARIABLE

MyColumn = columna

Call NumeroAColumna

RangoVariable = MyColumnLetter & 107 & ":" & MyColumnLetter & 121

'FUNCION OBJETIVO / MAXIMIZACION / CELDAS VARIABLES

solverok SetCell:=Cells(106, columna), MaxMinVal:=1,  
ByChange:=Range(RangoVariable)

'NUMERO DE CORTES DEBE SER ENTERO Y MAYOR A CERO

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=4 ' CONDICION DE ENTEROS

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=3, FormulaText:=0 ' CONDICION DE MAYOR A CERO

'SUMA DE CORTES DEBE SER MENOR O IGUAL AL ANCHO DISPONIBLE

solveradd CellRef:=Cells(106, column), Relation:=1, FormulaText:=Cells(89, 25)

'COPIAR ORDEN DE PRODUCCIÓN VARIABLE COMO VALOR

Range("AC107:AC121").Select

Selection.Copy

Range("AF107:AF121").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

'ROLLOS DEBEN SER MENOR O IGUAL A LO REQUERIDO Y ROLLOS EXTRAS DEBEN SER SOLO DEL TIPO INDICADO

If Cells(106, 31) > Cells(89, 25) Then 'RESTRICCIÓN PARA CORRIDAS PREVIAS A LA ULTIMA

solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=1, FormulaText:=Range("AF107:AF121") 'RELACION <=

Else 'EN CASO SE TRATE DE LA ULTIMA CORRIDA, VERIFICAR CONDICION DE ROLLOS EXTRAS PARA CADA ANCHO

contador = 0

fila = 107

Do Until contador = 15

    If Cells(fila, 16) = 0 Then 'SIN CONDICION DE ROLLOS EXTRAS

        solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=2,  
FormulaText:=Cells(fila, 32) 'NUMERO DE ROLLOS IGUAL A LA ORDEN  
FALTANTE

        fila = fila + 1

    Else

        solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=3,  
FormulaText:=Cells(fila, 32) 'NUMERO DE ROLLOS PUEDE SER MAYOR A  
LA ORDEN FALTANTE

        fila = fila + 1

    End If

    contador = contador + 1

Loop

End If

SolverSolve UserFinish:=True

SolverFinish KeepFinal:=1

'REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

    Call verultimoregistro

    Sheets("CALCULO").Activate

    Peso = Cells(89, 28).Value

    LongManta = Cells(89, 29).Value

    Desperdicio = (Cells(89, 23).Value - Cells(106, columna).Value) \* 0.0254 \*  
LongManta \* Peso

    Aprovechamiento = Cells(95, columna).Value

    Sheets("PROGRAMA DE PROD").Select

    Fecha = Date

Turno = Cells(3, 5).Value

Hora = Time

'PASAR LA INFORMACION A BD

Sheets("Control de Desperdicio").Activate

Cells(ultimoregistro, 3) = Fecha

Cells(ultimoregistro, 4) = Turno

Cells(ultimoregistro, 5) = "J114"

Cells(ultimoregistro, 6) = Desperdicio

Cells(ultimoregistro, 7) = Aprovechamiento

Cells(ultimoregistro, 8) = Hora

Sheets("CALCULO").Activate

columna = columna + 1 'IMPORTANTE COLOCAR ESTA FILA LUEGO  
DE REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

Loop

Else

End If

'BT015 - OPTIMIZACIÓN

'\*\*\*\*\*

If Cells(122, 29) > 0 Then ' SI NO HAY ORDEN DE ESTE PRODUCTO SE  
CONTINUARÁ CON SIGUIENTE PRODUCTO

runAgain = 0

columna = 22

Do Until runAgain = 1

    If Cells(122, 31) > Cells(91, 25) Then

    Else

        runAgain = 1

    End If

SolverReset

SolverOptions Precision:=0.000001

SolverOptions MaxTime:=90

'DETERMINAR EL RANGO VARIABLE

    MyColumn = columna

    Call NumeroAColumna

    RangoVariable = MyColumnLetter & 123 & ":" & MyColumnLetter & 128

'FUNCION OBJETIVO / MAXIMIZACION / CELDAS VARIABLES

    solverok SetCell:=Cells(122, columna), MaxMinVal:=1,  
    ByChange:=Range(RangoVariable)

'NUMERO DE CORTES DEBE SER ENTERO Y MAYOR A CERO

    solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=4 ' CONDICION DE  
ENTEROS

    solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=3, FormulaText:=0 '  
CONDICION DE MAYOR A CERO

'SUMA DE CORTES DEBE SER MENOR O IGUAL AL ANCHO  
DISPONIBLE

```
solveradd CellRef:=Cells(122, columna), Relation:=1,  
FormulaText:=Cells(91, 25)
```

'ROLLOS DEBEN SER MENOR O IGUAL A LO REQUERIDO Y ROLLOS  
EXTRAS DEBEN SER SOLO DEL TIPO INDICADO

```
Range("AC123:AC128").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("AF123:AF128").Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
If Cells(122, 31) > Cells(91, 25) Then
```

```
solveradd CellRef:=Range(RangoVariable), Relation:=1,  
FormulaText:=Range("AF123:AF128")
```

```
Else
```

```
contador = 0
```

```
fila = 123
```

```
Do Until contador = 6
```

```
If Cells(fila, 16) = 0 Then
```

```
solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=2,  
FormulaText:=Cells(fila, 32)
```

```
fila = fila + 1
```

```
Else
```

```
solveradd CellRef:=Cells(fila, columna), Relation:=3,  
FormulaText:=Cells(fila, 32)
```

```
fila = fila + 1
```

```
End If
```

```

        contador = contador + 1

    Loop

End If

SolverSolve UserFinish:=True

SolverFinish KeepFinal:=1

```

#### 'REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

```

    Call verultimoregistro

    Sheets("CALCULO").Activate

    Peso = Cells(91, 28).Value

    LongManta = Cells(91, 29).Value

    Desperdicio = (Cells(91, 23).Value - Cells(122, columna).Value) * 0.0254 *
LongManta * Peso

    Aprovechamiento = Cells(96, columna).Value

    Sheets("PROGRAMA DE PROD").Select

    Fecha = Date

    Turno = Cells(3, 5).Value

    Hora = Time

```

#### 'PASAR LA INFORMACION A BD

```

    Sheets("Control de Desperdicio").Activate

    Cells(ultimoregistro, 3) = Fecha

    Cells(ultimoregistro, 4) = Turno

    Cells(ultimoregistro, 5) = "BT015"

    Cells(ultimoregistro, 6) = Desperdicio

    Cells(ultimoregistro, 7) = Aprovechamiento

```



```

Cells(ultimoregistro, 8) = Hora

Sheets("CALCULO").Activate

    columna = columna + 1 'IMPORTANTE COLOCAR ESTA FILA LUEGO
DE REGISTRO DE DESPERDICIO VERDE

    Loop

Else

End If

'*****

Sheets("INICIO").Activate

Cells(30, 19).Value = "FINALIZADO!"

Cells(30, 19).Font.Color = RGB(0, 0, 0)

' COLOCAR FECHA Y HORA

Sheets("PROGRAMA DE PROD").Activate

Cells(3, 11).Value = Date

Cells(4, 11).Value = Time

Call LimpiarFormato

Call bloquearhoja

End Sub

Sub NumeroAColumna()

If MyColumn > 26 Then

```

```
MyColumnLetter = Chr(Int((MyColumn - 1) / 26) + 64) & Chr(((MyColumn - 1) Mod 26) + 65)
```

```
Else
```

```
MyColumnLetter = Chr(MyColumn + 64)
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub verultimoregistro()
```

```
Sheets("CONTROL DE DESPERDICIO").Activate
```

```
Range("C4").Select
```

```
ultimoregistro = Range("C5").CurrentRegion.Rows.Count + 5
```

```
End Sub
```

```
Sub LimpiarFormato()
```

```
'VACIAR PRIORIDADES Y OPCION SOBRETIEMPO
```

```
Range("E6:J6").ClearContents
```

```
Range("E17:J17").ClearContents
```

```
Range("E36:J36").ClearContents
```

```
Range("E4:E4").ClearContents
```

```
End Sub
```

Sub desbloquearhoja()

Sheets("INICIO").Unprotect Password:="123654"

Sheets("PROGRAMA DE PROD").Unprotect Password:="123654"

Sheets("CONTROL DE DESPERDICIO").Unprotect Password:="123654"

Sheets("CALCULO").Unprotect Password:="123654"

Sheets("BASES").Unprotect Password:="123654"

End Sub

Sub bloquearhoja()

Sheets("INICIO").Protect Password:="123654"

Sheets("PROGRAMA DE PROD").Protect Password:="123654"

Sheets("CONTROL DE DESPERDICIO").Protect Password:="123654"

Sheets("CALCULO").Protect Password:="123654"

Sheets("BASES").Protect Password:="123654"

End Sub

#### **4.4 Simulación del Software**

Previo a la implementación del software, este tuvo que ser probado en reiteradas ocasiones, realizando simulaciones para constatar su fiabilidad.

Como parte de la etapa de simulación se definió evaluar algunos criterios claves los cuales de conseguirse resultados positivos avalarían la calidad del software y así poder entrar en una siguiente etapa de implementación en la fábrica.

Criterios de Evaluación:

- Interfaz gráfica sencilla
- Tiempo empleado en determinar orden de Producción
- Tiempo empleado en optimizar orden
- Verificación de optimalidad

Para poder evaluar los criterios claves se realizaron simulaciones a partir de requerimientos reales de planta. Se simuló los programas de producción de la máquina Slitter durante un periodo de 15 días a manera de tener diversos escenarios y hacer la evaluación de los criterios claves en cada uno de ellos.

##### **Criterio 1: Interfaz gráfica sencilla**

Como se mencionó previamente el aplicativo fue desarrollado haciendo uso de la plataforma Excel que desde un inicio significó una ventaja puesto que el personal de la empresa está bastante familiarizado con este programa lo cual facilitará su adaptación.

Si bien el software cuenta con varias hojas de cálculo en donde se almacenan la base de datos, se realizan los cálculos internos necesarios y las pantallas de ingresos de información, se estableció que el usuario final del software en este caso el Supervisor de Producción solo tenga acceso a las hojas de cálculo con las cuales va a interactuar de manera que el resto de información quede protegida y evitar algún daño o pérdida de información por un mal uso del software.

Durante las simulaciones realizadas no se tuvo problemas con la interfaz que ofrece el aplicativo, por el contrario el uso de listas desplegables facilita la selección de medidas de llantas y el indicador de llantas/turno que se muestra de manera automática ayuda bastante para el ingreso de las restricciones de la pizarra de construcción.

En general se concluye que la interfaz gráfica del software es adecuada y de sencillo manejo para el personal.

### **Criterio 2: Tiempo empleado en determinar orden de producción**

Para este criterio lo que se espera es que el tiempo sea el mínimo posible de modo que no genere retraso en el desarrollo de las actividades del operador de la Slitter. De las simulaciones se observó que la etapa que más tiempo demanda es el registro de la pizarra de construcción ya que se estuvo registrando todas las medidas desde cero, sin embargo durante su aplicación de manera constante en todos los turnos de trabajo este tiempo será menor ya que entre turno y turno solo se realizan pocos cambios de medida es decir solo habría que variar algunas celdas y no la totalidad de ellas.

En las simulaciones realizadas el tiempo empleado fue disminuyendo a medida que se adquiría mayor practica iniciando en 12 minutos y alcanzando durante las últimas simulaciones un tiempo de 7 minutos, pudiendo ser menor como se ha mencionado cuando se trabaje de manera cotidiana y continua con el aplicativo.

En general el tiempo que toma el ingreso de datos es aceptable y mínimo y no representa mayor tiempo que el que demoraba en operador anteriormente.

### **Criterio 3: Tiempo empleado en optimizar orden**

El tiempo empleado por el sistema para evaluar y hallar el óptimo en un inicio durante el desarrollo de las versiones previas del software generó dificultades porque en algunas ocasiones inclusive podía tardar más de 5 minutos por cada producto siendo un tiempo de espera alto. Se trabajó cambiando la lógica y secuencia del programa ya que en un inicio del proyecto se realizaba una sola optimización global pero como se tenía mayor cantidad de celdas variables el programa tardaba mucho tiempo, por ello se re-evaluó y se cambió por un sistema de optimizaciones parciales trabajando menor cantidad de variables a la vez y así se logró tiempos de optimización muy bajos por debajo de 1 minuto en la mayoría de casos.

Con la mejora aplicada en su momento, se concluye que el tiempo actual de optimización es bastante aceptable y no genera un retraso en la entrega del programa de producción.

#### **Criterio 4: Verificación de optimalidad**

Este es el punto más importante a evaluar porque no tendría razón de ser ejecutar un programa que en definitiva no de los resultados esperados. Por ello el cambio mencionado en el punto anterior respecto a la lógica de programación de migrar de un sistema que calculaba un óptimo global a un sistema de óptimos parciales fue muy analizado puesto que este cambio no debía afectar la optimalidad del sistema.

De las simulaciones que se realizaron se encontró que los resultados eran óptimos probándose inclusive con la versión anterior del software y hallándose resultados correctos y en menor tiempo inclusive.

En conclusión se determinó que los programas simulados mostraban corridas óptimas y solo en el caso que las condiciones dadas por las restricciones no permitían alcanzar el aprovechamiento del ancho máximo del material se generaba un desperdicio mínimo.

En general la etapa de simulación del software permitió validar la calidad y efectividad del aplicativo realizado y sobretodo validar la condición de optimalidad de los resultados siendo estos positivos se dio pase para la etapa de implementación del nuevo método de programación.

A continuación se muestra cuadro de % de aprovechamiento de material en donde se compara los resultados obtenidos por el operario versus los resultados obtenidos utilizando el programa de optimización.

		ANCHO DE MATERIAL APROVECHADO (%)		ANCHO DE MATERIAL APROVECHADO (pulg.)	
RACK	ANCHO TOTAL DEL MATERIAL (pulg.)	OPERARIO	SOFTWARE	OPERARIO	SOFTWARE
J114	28	89.64%	94.12%	25.1	26.4
T112	28	88.93%	94.50%	24.9	26.5
BT015	56	92.68%	95.67%	51.9	53.6

TABLA N° 4.15. COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO DE MATERIAL OPERARIO VS SOFTWARE – ELABORACIÓN PROPIA

Como se puede apreciar en el cuadro anterior hay una mejora en el ancho aprovechado como consecuencia del uso del aplicativo.

#### 4.5 Implementación y Pruebas

La etapa de implementación consistió en la puesta en operación del nuevo método de programación de la máquina Slitter, para ello fueron necesarias las siguientes etapas:

##### **Etapa 1: Instalación del Aplicativo en PC del Supervisor de Stock**

Esta etapa consistió en realizar una copia del software en la PC del Supervisor de Producción, si bien esta operación es muy sencilla había que corroborar que se encuentren activados los complementos de Excel necesarios para el funcionamiento del programa. Para esto es necesario activar la librería de Solver, la ficha programador y cambiar la configuración de habilitación de macros.



## **Etapas 2: Inducción al Supervisor de Producción**

Si bien el Supervisor de Producción participó del proceso de desarrollo del sistema ya que durante este periodo se le hicieron consultas y se tomó en cuenta sus apreciaciones, aun así era necesaria una etapa previa de inducción para que se vayan adecuando al entorno del programa y conocer todos los pasos así como absolver cualquier duda que tuviesen.

Para esta etapa se dio soporte al supervisor de producción durante el inicio de turno durante unos días hasta que logre un manejo adecuado que le permita realizar el programa de producción sin ayuda. Se trabajó de la misma manera con el resto de supervisores de los distintos turnos consiguiendo capacitar a todos en el adecuado manejo del aplicativo.

## **Etapas 3: Inducción al Operador de Slitter**

El operador de Slitter si bien continuará realizando sus operaciones de forma normal se le explicó sobre el nuevo sistema de programación y sobre la importancia de conseguir un óptimo aprovechamiento del material y evitar así generar desperdicio.

## **Etapas 4: Pruebas**

Habiéndose capacitado tanto al Supervisor de Producción como al Operador se iniciaron las pruebas preliminares. El Supervisor realizó su programa de producción a inicio de turno y se lo entregó al Operador quien empezó su jornada de trabajo ya contando con un programa establecido.



FIGURA N° 4.16. OPERACIÓN DE MÁQUINA SLITTER DURANTE PERIODO DE PRUEBAS INICIALES (VISTA FRONTAL) – ELABORACIÓN PROPIA



FIGURA N° 4.17. OPERACIÓN DE MÁQUINA SLITTER DURANTE PERIODO DE PRUEBAS INICIALES (VISTA POSTERIOR) – ELABORACIÓN PROPIA

#### **4.6 Estimaciones de ahorro de material y beneficio económico**

La elaboración de este proyecto de mejora fue realizado teniendo como objetivo principal lograr una reducción de los desperdicios generados en el proceso de corte en la máquina Slitter y así a su vez contribuir con la reducción de costos del proceso productivo tendiente a conseguir un proceso eficiente y que permita

a la compañía mantener la competitividad de acuerdo a las exigencias del mercado.

Para poder evaluar el ahorro de material conseguido se realiza una comparación entre los kilos de desperdicio por corrida según muestreo realizado al método actual de trabajo y será comparado con los kilos de desperdicio por corrida según las simulaciones realizadas con el nuevo método de programación y uso del aplicativo.

RACK	KILOS DE DESPERDICIO PROMEDIO POR CORRIDA		AHORRO POR CORRIDA (EN Kg.)
	OPERARIO	SOFTWARE	
J114	4.03	2.29	1.74
T112	4.90	2.43	2.47
BT015	6.39	3.78	2.61

TABLA N° 4.16. KILOS AHORRADOS POR CORRIDA POR USO DE SOFTWARE SEGÚN TIPO DE MATERIAL – ELABORACIÓN PROPIA

Para poder estimar los ahorros en unidades monetarias se solicitó al Departamento de Costos el costo por kilo de rack para J114, T112 y BT015 quienes proporcionaron la siguiente información:

RACK	\$ / Kg
J114	\$2.60
T112	\$2.83
BT015	\$2.47

TABLA N° 4.17. COSTO UNITARIO EXPRESADO EN DOLARES POR KILO SEGÚN TIPO DE MATERIAL – ELABORADO POR DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD

Teniendo el costo por kilo se calcula los ahorros que se generan para un periodo de un año considerándose una producción mensual promedio y calculando la cantidad de corridas promedio mensuales para cada tipo de producto.

Como resultado de este análisis se obtiene el siguiente cuadro:

<b>RACK</b>	<b>AHORRO / CORRIDA (kg)</b>	<b># DE CORRIDAS/MES (Producción Agosto 2014)</b>	<b>AHORRO MENSUAL (kg)</b>	<b>AHORRO ANUAL (kg)</b>	<b>AHORRO ANUAL (\$)</b>
J114	1.74	169	294.4	3532.9	\$9,172
T112	2.47	122	301.8	3621.8	\$10,258
BT015	2.61	34	88.4	1060.8	\$2,616
			<b>684.6</b>	<b>8,215.5</b>	<b>\$22,046</b>

TABLA N° 4.18. AHORROS ANUALES SEGÚN PROYECCIONES DE NÚMERO DE CORRIDAS POR TIPO DE PRODUCTO – ELABORACIÓN PROPIA

Los ahorros anuales proyectados según los cálculos realizados alcanzan los \$22,046 considerando como base la producción del mes de Agosto 2014 por ser un valor de producción promedio. El ahorro proyectado de 8,215.5 kilos representa una reducción de 51.7% superando el objetivo inicial de reducir el 5%, por lo tanto se considera un proyecto positivo y beneficioso.

#### **4.7 Estandarización del Proceso Mejorado**

Habiéndose implementado el nuevo método de programación y superado algunos contratiempos iniciales comunes de cualquier implementación y adaptación a un nuevo método de trabajo correspondía establecer y dejar definido un documento que indique básicamente las personas involucradas, sus funciones y responsabilidades para el correcto cumplimiento del nuevo método de

programación de la máquina Slitter. Es por ello que se desarrolló un procedimiento de trabajo de manera que este método quede oficializado y parte del sistema de trabajo de la organización.

**Procedimiento de Trabajo:** Programación de Máquina Slitter

Los Responsables de cumplir con las indicaciones aquí establecidas son el Supervisor de Producción (Preparación de Stock), el Operador de Slitter y el Enrollador de mantas secundarias.

Del Supervisor del Área de Preparación de Stock

Supervisor del Turno Anterior:

1. El supervisor deberá ingresar y actualizar en el software las medidas de llantas que están programadas en los dos siguientes turnos, según la pizarra de Construcción.
2. El supervisor deberá colocar las restricciones que hubiese para cada medida (referidas a cantidad de: rodantes, carcasas, costados, aros, etc.)
3. El supervisor antes de finalizar el turno recibe y constata el inventario realizado por el operario de Slitter y/o lo realiza él mismo según sea el caso y luego lo ingresa en el software.
4. Asimismo, ingresará el inventario de paquetes de aros preparados únicamente de las medidas que se encuentran “en línea” indicadas en el software.

#### Supervisor del Turno a Programar:

1. A inicio de turno, el Supervisor verificará y constatará en el software las medidas de llantas y/o restricciones ingresadas por el supervisor del turno anterior.
2. A continuación, deberá verificar y regular el número de corridas a programar en el turno, para ello ajustará el requerimiento según los porcentajes de cumplimiento que asigne en las pizarras de requerimientos del software que se indican.
3. El supervisor asignará la condición de rollos extras para cada ancho, según sea el caso y verificará la orden de producción obtenida.
4. Ejecutará el software haciendo clic en el botón “Programar Slitter” y esperará los resultados generados.
5. El supervisor revisará la combinación obtenida y verificará el ancho aprovechado en cada corrida.
6. De ser necesario, volverá a ajustar la condición de rollos extras y/o el inventario inicial y nuevamente ejecutará el software esperando obtener un mejor aprovechamiento.
7. Una vez obtenido el programa de Slitter el supervisor indicará la prioridad de cada corrida.
8. El supervisor deberá imprimir y entregar el programa de producción al operario de Slitter y al Enrollador de mantas secundarias.
9. De ser necesario, el supervisor durante el turno podrá realizar ajustes y/o variaciones en las combinaciones programadas de acuerdo a las necesidades de producción.

Del Operador de Slitter:

1. A inicio de turno, recibir del Supervisor el programa de producción de Slitter, verificando las prioridades a trabajar según los requerimientos del Área de Construcción.
2. Cumplir el programa de producción, respetando las combinaciones y prioridades indicadas.
3. Al inicio de cada corrida y cuando sea necesario, el operador deberá centrar el rollo montado con la línea guía para reducir el descentramiento del material. Asimismo, deberá colocar los topes en ambos lados del rollo montado para evitar que este se desplace lateralmente y se genere mayores desperdicios.
4. De existir algún inconveniente con las combinaciones programadas dar aviso al Supervisor para realizar ajustes y/o esperar indicaciones.
5. Al finalizar cada corrida, colocar los desperdicios generados en los estantes destinados para tal fin, según el tipo de rack trabajado, evitando combinarlos entre sí.
6. Antes de finalizar el turno, realizar el inventario de rollos de rozaderas, aletas y cap ply, considerando los rollos montados en máquinas de construcción.

Del Enrollador de Mantas Secundarias:

1. Recibir del Supervisor el programa de producción de Slitter, y verificar las prioridades a trabajar según los requerimientos de Construcción y/o indicaciones del Supervisor.

2. Evitar que se acumulen, en su puesto de trabajo, las mantas vacías por enrollar; de rozaderas, aletas y cap ply.
3. El Enrollador deberá enrollar las mantas, según indica la prioridad del programa de producción de Slitter, evitando que se retrase el programa de Slitter por falta de mantas vacías enrolladas.

Importante:

1. El supervisor no deberá manipular las hojas de cálculo anexas en el software a fin de evitar una distorsión y/o complicación en la ejecución de cálculos.
2. De presentarse algún inconveniente con el software se deberá dar aviso al Dpto. de PCP para su revisión / corrección.
3. De haber variación en las especificaciones de llantas, anchos de material, etc. se deberá dar aviso al Dpto. de PCP para la actualización de las bases del software.



## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegó tras el desarrollo del proyecto de reducción de desperdicio en el proceso de corte en máquina Slitter.

1. Es posible reducir el desperdicio del proceso productivo de elaboración de neumáticos realizando un análisis detallado de las causas que lo originan e implementando mecanismos de mejora que puedan ser sostenidos en el largo plazo.
2. El desarrollo del nuevo método de programación en la máquina Slitter contribuye con el objetivo de reducir el desperdicio del proceso productivo.
3. Es importante entender que no necesariamente una herramienta, teoría o técnica que funcione en otros procesos tendrá el mismo resultado siempre, ajustarse a las necesidades particulares del proceso es una buena práctica y permite conseguir ventajas en cuanto a compatibilidad, practicidad, manejabilidad y así contribuir con lograr resultados efectivos.
4. Es posible lograr un ahorro superior si se analiza el descentramiento del material y se logra reducir el desplazamiento lateral del material.

## RECOMENDACIONES

A continuación se muestran las recomendaciones para quienes se encarguen de realizar otros proyectos de reducción de desperdicio en el proceso productivo.

1. Existen oportunidades de reducir el desperdicio en distintas etapas del proceso sin necesidad de grandes inversiones, se recomienda formar un equipo multidisciplinario de trabajo para obtener distintos enfoques y opciones de solución.
2. Como recomendación, Es importante tener en consideración que todo proceso será más sencillo de controlar y mejorar siempre y cuando se cuente con datos e información sobre el mismo que facilite el análisis y la comprensión del estado actual. De ahí la importancia de medir y utilizar métricas como base para todo proyecto de mejora.
3. Es recomendable fomentar el trabajo en equipo, el compromiso y la buena disposición de todos los involucrados de manera que el nuevo método de programación permita obtener los resultados esperados y puedan inclusive ser mejorados a partir de la participación activa y las mejoras que puedan aportar los operadores y supervisores quienes interactuarán con el aplicativo en el día a día.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Delgadillo Rosa, (2007)

*Un estudio algorítmico del problema de corte y empaquetado 2D*, Monografía para obtención del título de Licenciado en Investigación Operativa. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas.

Díaz José, (2013)

*Programación lineal modelo para minimizar la merma en el proceso de cortes de rollos de película para la elaboración de fotolitos empresa grupo Digigraf S.A.* Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas.

Gracia, Carlos, (2010)

*Métodos y Algoritmos para resolver problemas de Corte unidimensional en entornos realistas. Aplicación a una empresa del sector Siderúrgico.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Organización de Empresas

Loomba Paul (1964)

*N.P. Linear Programming: An introductory Analysis.* New York.

Ochoa Gustavo, (2014)

*Optimización de corte de varillas de acero de construcción*, Monografía para obtención del título de ingeniero Civil. Universidad de Cuenca.

Prawda Juan, (2004)

*Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones I: Modelos determinísticos*, México: Limusa

Taha Hamdy A., (2012)

*Investigación de Operaciones 9<sup>na</sup>.* Ed. México: Pearson

Winston Wayne L., (2004)

*Investigación de Operaciones aplicaciones y algoritmos 4<sup>ta</sup>. Ed. México:*

International Thomson Editores

## **ANEXOS**

CLASIFICACIÓN DE MEDIDAS RADIALES SEGÚN ANCHO DE ROZADERA J114 (PULGADAS)			EQUIVALENTE
2 1/4	2 1/2	3 1/2 - 5	# LLANTAS POR ROLLO
		12-22.5 16PR TX-22	57
		12-22.5 16PR DX-30	57
185/60R14 - T70 PLUS			84
165SR13 N - GT-100			90
175/70SR13-4 - T/70			90
155/70R12 4PR - T/70			96
165SR13-4 - GT-200			90
185/70SR14-4 - T-70			84
185/70R13 4PR - MASSTEK T65			90
185/65R14 - T/65			84
175SR13 N RBL - GT-100			90
165/65R13 77S - T65			90
205/70SR14-4 - T/70			84
195/60R13 - T70 PLUS			90
155SR13-4 - GT-100			90
165 SR13-4 - THE AWARD			90
165/65R13 4 PR - MASSTEK			90
155SR13 CE - THE AWARD			90
185/70R13 4 PR - T70 PLUS			90
175/70R13 4 PR - T70 PLUS			90
175/70R13 4PR - MASSTEK			90
185/70R14 4PR - T70 PLUS			84
175/70SR13 N RBL - T70			90
185/70R13 4PR - OLIMPICA			90
185/70R14 4PR - OLIMPICA			84
145R12 4PR - OLIMPICA			96
165/70R13 3PR - OLIMPICA			90
175/70R13 4PR - OLIMPICA			90
155R12 4PR - OLIMPICA			96
185/65R14 4PR - MASSTEK			84
165/65R13 - T70 PLUS			90
165/70R13 79 - T70 PLUS			90
175SR13 N - GT-100			90
	195SR14 C.E - GT-100		84
	LT215/75R14 SPORT A/T		84
	LT205R14 SUPER COMBI		84
	LT195R15 SUPER COMBI		79
	LT215/75R15 SPORT A/T		79
	LT235/75R15 SPORT A/T		79

ANEXO 1: CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE MEDIDAS RADIALES SEGÚN ANCHO DE ROZADERA – ELABORACIÓN PROPIA

## Simulación del nuevo método de programación de máquina Slitter

Se presenta la simulación del nuevo método de obtención del programa de la máquina Slitter para un turno de trabajo, indicando las actividades requeridas paso a paso, así como los responsables de realizar cada una de ellas. La simulación se realiza considerando que se desea obtener el programa del 1er turno.

### Paso 1: Ingreso de programa de construcción del 1er turno:

- El Supervisor del turno previo ingresa en el aplicativo las medidas de llantas que están programadas a trabajar durante el siguiente turno e ingresa las restricciones que hubiesen y que pudiesen condicionar la cantidad de llantas a producir (cambio de medida, falta de materiales, prueba técnica, etc.)
- El Supervisor del 1er turno verifica a inicio de turno las medidas ingresadas por el Supervisor del turno anterior y verifica también las restricciones y adiciona otras de ser necesario.

PROGRAMA DE OPTIMIZACION -SLITTER [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel																
PROGRAMACION DE SLITTER																
PIZARRA: 1ER TURNO																
Máquina	MEDIDA	LL / TURNO	RESTR.	C/M	# LL	RESTR.										
M88_1	LT205-R14 8PR SUPER CO	111			0											
M88_2	650 X 13 - 6 AUTOPISTA	207			0											
M88_3	735 X 14 - 8 LT AUTOPIST	125			0											
M88_4	650 X 14 - 8 TD-442 S/C	122	60	700 X 15 - 8 PIONERA C/C	65											
M88_5	165SR13 GT-200	146			0											
M88_6	185/70SR13 T-70	137	70	185/70 R13 T-70 PLUS	69											
M88_7	185/70SR14 T-70	137			0											
M80_1	195/60 R13 T-70 PLUS	151			0											
M80_2	205/70SR14 T-70	147			0											
M80_3	560 X 13 - 4 SAFETYLINEF	190			0											
M39_1	1200 X 20 - 16 TH-200	25			0											
M39_2	1200 X 20 - 18 PUKARA	23			0											
M39_3	825 X 20 - 14 TX-21	27			0											
M39_4	1000 X 20 - 14 TX-21	26			0											
M39_5		0			0											
M_330		0			0											
G72_3	LT205-R14 8PR SUPER CO	68			0											
G72_2	LT225-R16 8PR PARACCA	68			0											
M92_1	LT235/75R15 - 8 SPORT A	68	35		0											

ANEXO 2: CUADRO DE INGRESO DE PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN – ELABORACIÓN PROPIA

## Paso 2: Ingreso de Inventario Inicial de rollos y Condición de rollos extras:

- El Operador de Slitter del turno anterior al final de su turno realiza el inventario físico de rollos de rozadera, aletas y cap ply y se lo entrega al Supervisor de Producción.
- El Supervisor de Producción del turno anterior recibe e ingresa el inventario de rollos en el aplicativo y así mismo ingresa el inventario de paquetes de aros para ajustar la cantidad real necesaria de rollos de aletas.
- El Supervisor de Producción del 1er turno indica la condición de rollos extras de las medidas mas frecuentes y/o medidas que continuarán trabajando en los próximos turnos.

PROGRAMA DE OPTIMIZACION - SLITTER [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel																														
Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador																														
R29 =CALCULOIT100																														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U									
		TIPO	REQUERIMIENTO 1°T	REQUERIMIENTO 2°T	REQUERIMIENTO 3°T	REQUERIMIENTO TOTAL	INV. INICIAL	ORDEN DE PRODUCCION	CONDICION ROLLOS	PROGR.	TURNO: 1°																			
26		T112	29	0	0	29	11	18			Programar Slitter																			
27		2 3/4	17			17	7	10	1	0																				
28		3	3			3		3	1	0	FINALIZADO!																			
29		3 1/4	3			3	1	2		0																				
30		3 1/2				0		0		0																				
31		3 3/4	2			2	1	1		0																				
32		4	4			4	2	2		0																				
33		4 1/2				0		0		0																				
34		J114	37	0	0	37	13	24													Tipo N° Corridas									
35		1 3/4				0		0		0																				
36		2	12			12	6	6	1	0											ALETA 3									
37		2 1/8				0		0		0																				
38		2 1/4	14			14	4	10		0											ROZADERA 3									
39		2 1/2	6			6	2	4	1	0																				
40		2 3/4	2			2		2		0											CAP PLY 2									
41		3				0				0																				
42		3 1/4				0		0		0																				
43		3 1/2				0		0		0																				
44		3 3/4				0		0		0																				
45		4	1			1		1		0																				
46		4 1/2				0		0		0																				
47		4 3/4				0		0		0																				
48		5	2			2	1	1		0																				
49		5 1/4				0		0		0																				
50		CAP PLY	12	0	0	12	0	12																						
51		5 1/2				0		0		0																				
52		6				0		0		0																				
53		6 1/2	4			4		4		0																				
54		6 3/4	5			5		5	1	0																				
55		7	3			3		3		0																				
56		7 1/4				0				0																				

## ANEXO 3: CUADRO DE INGRESO DE INVENTARIOS DE ROLLOS Y CONDICIÓN DE ROLLOS EXTRAS – ELABORACIÓN PROPIA

## Paso 3: Clic en botón programar Slitter y obtención de programa de producción

- El Supervisor del 1er turno verifica que toda la información ingresada sea la correcta y hace clic en el botón programar Slitter y espera los resultados que el aplicativo arroja.



**Lima Caucho s.a.**

**PROGRAMA DE PRODUCCION - SLITTER**

TURNOS: 1°  
SOBRETIEPO:

FECHA: 26/10/2015  
HORA: 11:32 p.m.

PRIORIDAD >>						
ANCHO TOTAL >>	26.00	25.25	25.88			
T112						
# ROLLOS	8	8	9			
2 3/4	2	6	9			
3	3					
3 1/4	2					
3 1/2						
3 3/4		1				
4	1	1				
4 1/2						

PRIORIDAD >>						
ANCHO TOTAL >>	26.00	26.00	25.88			
J114						
# ROLLOS	10	10	11			
1 3/4						
2	1	3	7			
2 1/8						
2 1/4	5	5				
2 1/2	3	1	2			
2 3/4			2			
3						
3 1/4						
3 1/2						
3 3/4						
4	1					
4 1/2						
4 3/4						
5		1				
5 1/4						

PRIORIDAD >>						
ANCHO TOTAL >>	55.00	54.75				
CAPPLY						
# ROLLOS	8	8				
5 1/2						
6						
6 1/2	2	2				
6 3/4	4	5				
7	2	1				
7 3/4						

ANEXO 4: HOJA DE PROGRAMA DE PRODUCCIÓN DE MÁQUINA  
SLITTER – ELABORACIÓN PROPIA

**Paso 4: Contrastar rollos programados versus orden de rollos**

- El Supervisor del 1er turno deberá verificar en el aplicativo comparando la cantidad de rollos programados versus la cantidad de rollos que muestra la orden.
- Además deberá verificá el ancho total aprovechado en cada corrida, en caso crea conveniente podrá realizar ajustes en la condición de rollos extras y volver a correr el aplicativo.

PROGRAMA DE OPTIMIZACION - SLITTER [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel																					
M22																					
Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
		TIPO	REQUERIMIENTO 1°T		REQUERIMIENTO 2°T		REQUERIMIENTO 3°T			REQUERIMIENTO TOTAL		INV. INICIAL		ORDEN DE PRODUCCION		CONDICION ROLLOS		PROGR.	TURNO:	1°	
26		T112	29		0		0			29		11		19							
27		2 3/4	17							17		7		10		1		17			
28		3	3							3				3		1		3			
29		3 1/4	3							3		1		2				2			
30		3 1/2								0				0				0			
31		3 3/4	2							2		1		1				1			
32		4	4							4		2		2				2			
33		4 1/2								0				0				0			
34		J114	37		0		0			37		13		24							
35		1 3/4								0				0				0			
36		2	12							12		6		6		1		11			
37		2 1/8								0				0				0			
38		2 1/4	14							14		4		10				10			
39		2 1/2	6							6		2		4		1		6			
40		2 3/4	2							2				2				2			
41		3								0				0				0			
42		3 1/4								0				0				0			
43		3 1/2								0				0				0			
44		3 3/4								0				0				0			
45		4	1							1				1				1			
46		4 1/2								0				0				0			
47		4 3/4								0				0				0			
48		5	2							2		1		1				1			
49		5 1/4								0				0				0			
50		CAP PLY	12		0		0			12		0		12							
51		5 1/2								0				0				0			
52		6								0				0				0			
53		6 1/2	4							4				4				4			
54		6 3/4	5							5				5		1		9			
55		7	3							3				3				3			
56																					

## ANEXO 5: CUADRO DE VERIFICACIÓN DE ROLLOS PROGRAMADOS VS ROLLOS SEGÚN ORDEN – ELABORACIÓN PROPIA

### Paso 5: Imprimir programa de producción e indicar prioridad de corridas.

- El Supervisor imprime el programa de Slitter e indica la prioridad de las corridas para que el Operador de Slitter sepa cual de las corridas deberá realizar primero.
- Entrega programa de producción al Operador de Slitter concluyendo así el proceso de obtención del programa de producción de esta máquina.